This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

LANE MEDICAL LIBRARY STANFORD
2 45 0184 9402

LELAND·STANFORD·JVNIOR·VNIVERSITY

LELAND·STANFORD·JVNIOR·VNIVERSITY

LANE

MEDICAL LIBRARY

Gift to Lane from
Stanford University Library

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

ŒUVRES DE M. BERTHELOT

OUVRAGES GÉNÉRAUX

La Synthèse chimique, 8e édition, 1897, in-8°. Chez Félix Alcan.

Essai de Mécanique chimique, 1879; 2 forts volumes in-8°. Chez Dunod.

Sur la force des matières explosives d'après la thermochimie, 3e édition, 1883; 2 volumes in-8°. Chez Gauthier-Villars.

Traité pratique de Calorimétrie chimique, in-18, 1893. Chez Gauthier-Villars et G. Masson.

Thermochimie : Données et lois numériques, 1898, 3 volumes in-8°. Chez Gauthier-Villars.

Traité élémentaire de Chimie organique, en commun avec M. Jungfleisch, 4e édition, 1899; 2 volumes in-8°. Chez Dunod.

Science et Philosophie, 1886, in-8°. Chez Calmann Lévy.

Les Origines de l'Alchimie, 1885, in-8°. Chez Steinheil.

Collection des anciens Alchimistes grecs, texte et traduction, avec la collaboration de M. Ch.-Em. Ruelle, 1887-1888 : 3 volumes in-4°. Chez Steinheil.

Introduction à l'étude de la Chimie des Anciens et du moyen-âge, 1889, in-4°. Chez Steinheil.

La Révolution chimique, Lavoisier, 1890, in-8°. Chez Félix Alcan.

Histoire des Sciences : La Chimie au moyen-âge, 3 volumes in-4°, 1893; chez Leroux : *Transmission de la science antique; L'Alchimie syriaque; L'Alchimie arabe.*

Science et Morale, in-8°, 1897. Chez Calmann Lévy.

Renan et Berthelot : Correspondance, in-8°, 1898. Chez Calmann Lévy.

LEÇONS PROFESSÉES AU COLLÈGE DE FRANCE

Leçons sur les méthodes générales de Synthèse en Chimie organique, professées en 1864, in-8°. Chez Gauthier Villars.

Leçons sur la thermochimie, professées en 1865. Publiées dans la *Revue des Cours scientifiques*. Chez Germer-Baillière.

Même sujet, en 1880. *Revue scientifique*. Chez Germer-Baillière.

Leçons sur la Synthèse organique et la thermochimie, professées en 1881-1882. *Revue scientifique*. Chez Germer-Baillière.

OUVRAGES ÉPUISÉS

Chimie organique fondée sur la synthèse, 1860; 2 forts volumes in-8°. Chez Mallet-Bachelier.

Leçons sur les principes sucrés, professées devant la Société chimique de Paris en 1862, in 8°. Chez Hachette.

Leçons sur l'isomérie, professées devant la Société chimique de Paris en 1863, in-8°. Chez Hachette.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

CHALEUR ANIMALE

PRINCIPES CHIMIQUES

DE LA

PRODUCTION DE LA CHALEUR

CHEZ LES ÊTRES VIVANTS

I

NOTIONS GÉNÉRALES

PAR

M. BERTHELOT

Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences

PARIS

MASSON ET Cie, ÉDITEURS,
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Boulevard Saint-Germain, 12

GAUTHIER-VILLARS
IMPRIMEUR-ÉDITEUR
Quai des Grands-Augustins, 55

(Tous droits réservés)

OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE

165023

I. **Traité pratique de Calorimétrie chimique.**

II. **Chaleur Animale. Principes chimiques de la Production de la Chaleur chez les Êtres vivants. Notions générales.**

III. **Chaleur Animale. Principes chimiques de la Production de la Chaleur chez les Êtres vivants. Données numériques.**

STANFORD LIBRARY

PRÉFACE

—

Parmi les applications de la Thermochimie, l'une des plus importantes sans contredit est l'étude de la chaleur animale, et plus généralement de la chaleur développée par les êtres vivants. L'origine de ces études remonte à Lavoisier (1). Les découvertes de Priestley et les siennes avaient établi, de 1775 à 1777, ce caractère fondamental de la respiration animale, je veux dire la nécessité de l'oxygène de l'air, consommé pour l'entretien de celle-ci, et l'exhalaison corrélative de l'acide carbonique. Lavoisier fut conduit par là à assimiler la respiration à une combustion lente, dans laquelle l'air fournit, disait-il, l'oxygène et la matière du feu, combinée dans ce gaz; tandis que le sang fournit le combustible, que les aliments restituent incessamment. La chaleur est ainsi entretenue

(1) Voir mon livre, *La Révolution Chimique : Lavoisier*, chez Alcan, 1890, *p.* 173 et suivantes.

dans le corps humain par la combinaison du carbone et de l'oxygène, c'est-à-dire suivant le même procédé que dans nos foyers.

Lavoisier et Laplace mesurèrent, en 1783, les effets de cette combustion, comparée à celle d'une bougie, au moyen de la balance et du calorimètre, et reconnurent, je le répète, que « la conservation de la chaleur animale est due, au moins en grande partie, à la chaleur que produit la combinaison de l'oxygène respiré avec la base de l'air fixe (carbone de l'acide carbonique) que le sang lui fournit. » Plus tard, Lavoisier y fit intervenir, à titre secondaire, la combustion de quelque dose d'hydrogène provenant de l'organisme.

Ainsi, au début de ces études, toute la chaleur animale était regardée par Lavoisier, au même titre que la chaleur de la combustion du carbone et des métaux, comme tirée de l'oxygène consommé : elle résultait du calorique mis en liberté par la combinaison ultérieure de ce gaz.

Il négligeait ainsi la part propre qui revient aux éléments combustibles qui s'unissent avec l'oxygène. En réalité, nous admettons aujourd'hui que cette chaleur

n'est pas empruntée au gaz comburant seul, mais à l'ensemble formé par le comburant et le combustible réunis : elle représente la perte de l'énergie résultant de la transformation. Mais on n'est pas arrivé du premier coup à cette conception.

Quant au lieu où s'opère la combustion, Lavoisier a supposé d'abord qu'elle avait lieu dans le poumon, lieu où s'accomplit l'absorption de l'oxygène et l'exhalaison du gaz carbonique ; puis il a pensé qu'elle avait lieu dans toute l'étendue du corps humain, sans arriver d'ailleurs à des démonstrations définitives.

La quantité spéciale de chaleur, attribuable à la fixation de l'oxygène sur le sang, n'a été déterminée que récemment, par mes travaux consignés dans le Chapitre second du présent volume.

Quant aux réactions qui suivent cette fixation et qui donnent lieu à l'exhalaison de l'acide carbonique, elles ont lieu en réalité dans toute l'étendue de l'organisation, par des voies et des intermédiaires divers, aux dépens de principes multiples, et au milieu de phénomènes étudiés et éclaircis par une multitude de chimistes et

de physiologistes pendant le cours du XIX^e^ siècle ; phénomènes dont Lavoisier ne pouvait soupçonner ni l'importance ni la complexité.

Vers 1820, Dulong et les physiciens de l'époque firent un pas de plus. En même temps qu'ils reprennent les mesures calorimétriques de Lavoisier, ils admettent dans leurs calculs que la chaleur animale est proportionnelle, non plus au poids seul de l'oxygène consommé, comme le faisait Lavoisier, mais à la somme des chaleurs de combustion qui correspondent aux poids respectifs de l'acide carbonique et de l'eau engendrés, au poids de l'acide carbonique principalement. Il suffisait dès lors de mesurer la quantité d'oxygène consommée par un être vivant et celle de l'acide carbonique produit. L'excès d'oxygène absorbé, sur l'oxygène constitutif de l'acide carbonique, représentait, disait-on, l'hydrogène brûlé ; étant supposé d'ailleurs, comme le faisait déjà Lavoisier, que l'animal se retrouvait à la fin de l'expérience dans le même état physique et chimique qu'au début. En d'autres termes, on admettait implicitement, dans les calculs de cette époque, que le carbone

et l'hydrogène fournis par les aliments dégagent en brûlant dans le corps humain la même quantité de chaleur que s'ils étaient libres ; l'oxygène de ces mêmes aliments étant supposé uni à l'hydrogène sous une forme équivalente à l'eau.

Ce n'est pas ici le lieu de retracer l'histoire des longs et importants travaux de Regnault, de Boussingault et de beaucoup d'autres savants sur la respiration et sur la nutrition ; travaux qui avaient pour objet de reprendre sous une forme indirecte l'étude de la chaleur animale, sans effectuer de mesures calorimétriques. Ce récit, quel qu'en soit l'intérêt, nous entraînerait trop loin. Il suffira de rappeler que le problème n'était pas abordé avec des données suffisantes. En effet, on n'avait alors que des idées confuses, au point de vue thermique, sur le caractère propre des réactions chimiques qui développent la chaleur dans le corps humain, et on ne tenait nul compte du rôle calorifique des phénomènes d'hydratation, et de dédoublements accomplis avec ou sans fixation d'eau ; ce rôle n'ayant été mis en pleine évidence que par mes propres recherches sur les nitriles, les

amides, les composés éthérés, ainsi que sur les caractères thermiques des fermentations : recherches poursuivies, qu'il me soit permis de le rappeler, pendant plus de trente années à partir de 1865.

Cette confusion n'a été tout à fait dissipée que par l'énoncé (1) des règles précises, non formulées jusque-là d'une façon explicite, en vertu desquelles la chaleur animale, doit être évaluée : suivant qu'il s'agit d'oxydations totales, ou d'oxydations incomplètes; d'oxydations directes, ou d'oxydations indirectes; d'hydratations, ou de dédoublements; toutes réactions accomplies sur des composés dont la formation depuis les éléments a déjà consommé ou emmagasiné une certaine énergie. J'ai donné en même temps les principes, précédemment ignorés, en vertu desquels on évalue la chaleur de formation des composés organiques, quels qu'ils soient, à l'aide de leurs chaleurs de combustion.

Les principes qui présidaient aux anciens procédés de calcul de la chaleur animale ont été ainsi complètement transformés.

(1) *Ann. de Ch. et de Phys.* 4e S. t. VI, p. 432, 1865; *Essai de Mécanique Chimique*, t. I. p. 89.

Mais, pour pouvoir appliquer aux faits observés ces règles et ces calculs et pour définir avec rigueur et dans le détail la production de la chaleur animale, il faut connaître la chaleur individuelle de formation et de combustion de chacun des composés qui interviennent dans l'alimentation, de chacun des composés qui prennent naissance dans l'économie, aussi bien que celle de chacun des produits rejetés au dehors par diverses voies.

C'est en vue de cette œuvre que j'ai déterminé depuis vingt-cinq ans et fait déterminer par mes élèves la chaleur de combustion de très nombreux composés organiques. Cette œuvre avait été commencée autrefois par Favre et Silbermann, qui n'en avaient pas aperçu d'ailleurs l'application au calcul même des chaleurs de formation de l'ensemble des composés organiques depuis les éléments. Elle se poursuit aujourd'hui de divers côtés et dans différents pays, par les méthodes nouvelles et plus précises que comporte l'emploi de la bombe calorimétrique. Les conséquences générales et particulières que l'on en tire, pour l'étude des réactions chimiques, présentent un intérêt

très grand, lorsqu'elles ont pour objet de définir la production de la chaleur animale, tant dans l'ensemble de l'économie, que dans chaque organe, en particulier, et cela avec une rigueur que les physiologistes, faute de données convenables, n'avaient pas jusqu'ici réussi, ni même cherché à atteindre.

J'ai déterminé en particulier la chaleur de formation de l'urée, celle de l'acide urique, celle des principes albuminoïdes, toutes données essentielles et qui n'étaient pas connues avec exactitude. La mesure de la chaleur dégagée pendant l'absorption de l'oxygène par le sang, jusqu'alors ignorée, m'a permis de fournir à l'étude des effets thermiques de la respiration une base nouvelle. Par l'ensemble de ces mesures et de ces déductions, un simple chapitre de mes anciens travaux thermochimiques a pris des développements et une importance susceptibles d'en former un ouvrage complet.

Les matières traitées dans le présent ouvrage sont partagées en deux parties : la première contient les notions générales ; la seconde, les données numériques.

Le Chap. I[er] de la première partie expose les théorèmes de thermochimie, *relatifs à la* production de la chaleur dans

les êtres vivants par réactions chimiques, à l'état d'entretien, aux travaux extérieurs, à l'évolution progressive ou régressive, aux oxydations directes ou indirectes, totales ou incomplètes, aux transformations isomériques, aux phénomènes d'hydratation et de déshydratation, aux combinaisons et aux dédoublements. Ces théorèmes comprennent les cas fondamentaux susceptibles de se présenter dans l'étude de la chaleur animale, qu'il s'agisse de sa production dans l'ensemble de l'économie, ou dans certains organes localisés. J'expose leurs applications à un grand nombre de phénomènes physiologiques, dans les animaux et dans les végétaux, sans cependant sortir du domaine exact de la thermochimie.

Le Chap. II est consacré à la mesure de la chaleur dégagée par l'action de l'oxygène libre sur le sang : mesure essentielle dans les recherches sur la respiration.

Dans le Chap. III, je rapporte mes expériences sur la chaleur de formation et de combustion de l'urée, laquelle constitue la forme principale sous laquelle est éliminé l'azote combiné dans l'organisme humain.

Les métamorphoses des principes immédiats, contenus dans les tissus et liquides

des êtres vivants, sont innombrables et pour la plupart peu connues ; en outre la marche des calculs nécessaires pour en apprécier l'équivalence thermo-chimique est d'ordinaire mal comprise par la plupart des personnes qui ont essayé de les appliquer. C'est pourquoi il m'a paru utile de prendre un exemple propre à définir cette marche : j'ai choisi l'étude de la glucogénèse et de la thermogénèse dans l'économie : c'est l'objet du Chap. IV.

Hâtons-nous d'ajouter que les discussions auxquelles il est consacré sont d'un ordre essentiellement chimique. Je ne prétends pas entrer dans l'examen des questions physiologiques qui s'y rattachent, sans en méconnaître d'ailleurs l'intérêt au point de vue biologique et médical ; je n'aborderai pas non plus les problèmes d'énergétique musculaire, auxquels M. Chauveau a consacré des travaux si considérables. Quelle que soit l'importance de cet ordre d'études, elles ne sauraient être discutées ici, sans sortir du domaine limité et précis où le présent traité doit demeurer contenu.

La seconde partie de l'ouvrage est consacrée aux données numériques concernant la chaleur dégagée par la formation et par la com-

bustion, tant par voie sèche, que par voie humide, c'est-à-dire dissoute, des principaux corps simples et composés connus pour intervenir dans l'étude de la chaleur animale.

Ainsi le Chap. Ier de la seconde partie présente les mesures relatives à la chaleur de combustion du carbone : question capitale, puisqu'à l'origène c'était la base presque unique des études sur la chaleur animale. Même aujourd'hui, c'est encore la donnée qui y joue le plus grand rôle. Aussi ai-je cru devoir reproduire le détail des expériences par lesquelles j'en ai fixé la valeur définitive.

Dans le Chap. II, on trouvera des tableaux contenant d'abord la chaleur de formation de l'eau et des composés minéraux les plus simples, parmi ceux qui existent chez les êtres vivants ; puis les chaleurs de formation et de combustion des composés ternaires oxygénés, répondant à la même définition, tels que les alcools, phénols, aldéhydes, acides et sels correspondants ; spécialement les chaleurs de combustion et de formation des hydrates de carbone, glucoses et polyglucosides, et celle des corps gras naturels.

Aux principes azotés de fonction et formule bien définies, dérivés des albumi-

noïdes, et susceptibles d'exister dans l'économie animale, ainsi qu'aux corps congénères tels que amines, amides, dérivés uréiques, acide urique en particulier, nitriles, dérivés de l'indol, principes qui ont été les objets des études de mon laboratoire pendant plusieurs années, je consacrerai le Chap. III. Il renferme un certain nombre de données nouvelles et inédites.

Enfin dans le Chap. IV et dernier, je reproduis la liste méthodique des mesures que j'ai exécutées pour déterminer la chaleur de formation et de combustion des principes albuminoïdes eux-mêmes, composés fondamentaux des organismes animaux.

L'ensemble de cet ouvrage et de ces données numériques fournira aux physiologistes et aux hygiénistes une base solide pour leurs spéculations et leurs déductions, à la fois rationnelles et expérimentales. Il concourra ainsi à jeter des lumières nouvelles sur les problèmes chimiques si délicats et si obscurs, qui interviennent dans la production et l'entrétien de la vie. C'est du moins dans cette espérance que j'ai entrepris la longue et pénible suite des recherches dont le présent ouvrage forme la conclusion.

LIVRE PREMIER

CHAPITRE PREMIER

CHALEUR DES ÊTRES VIVANTS PRINCIPES CHIMIQUES GÉNÉRAUX

OBJET DU CHAPITRE

1. — Les êtres vivants sont le siège d'une multitude de phénomènes chimiques et de transformations de l'énergie, transformations calorifiques, mécaniques et même électriques, étroitement liées aux phénomènes chimiques. Ainsi les animaux et l'homme absorbent continuellement de l'oxygène, et consomment des aliments ; d'autre part, ils rejettent au dehors de l'acide carbonique, de l'eau et divers produits excrémentiels. De tels effets représentent les deux termes extrêmes et opposés de toute une série de métamorphoses chimiques, accomplies dans les tissus animaux, en partie aux dépens des matières ingérées, en partie aux dépens des tissus eux-mêmes. Or, ces diverses métamorphoses répondent à de certains effets calorifiques, et plus généralement à de certains tra-

vaux moléculaires, accomplis dans l'intérieur de l'organisme.

Ces travaux moléculaires sont assez considérables chez les animaux supérieurs, pour en maintenir la température à un degré fixe, généralement plus élevé que celui de la température ambiante du milieu, air ou eau, dans lequel ils sont plongés.

De là cette conséquence capitale, que le milieu ambiant ne fournit en général à l'homme et aux animaux supérieurs, aucune énergie calorifique. Les réactions chimiques intérieures procurent l'énergie nécessaire, non seulement pour maintenir la température de ces êtres, mais aussi pour subvenir à l'énergie consommée dans les travaux extérieurs, accomplis par les mouvements volontaires de l'animal, pris dans son ensemble. Elles interviennent également dans les travaux intérieurs de l'organisme et dans les dégagements de chaleur spéciaux qui peuvent s'y produire, à l'état normal ou à l'état pathologique.

Les animaux à sang froid, au contraire, ne possèdent qu'une température variable avec celle du milieu ambiant, en raison de la moindre activité des métamorphoses chimiques dont leurs tissus sont le siège. Ces métamorphoses

n'en jouent pas moins un rôle essentiel dans la production d'une certaine quantité de chaleur, manifeste dans divers actes de la vie de ces êtres. Mais en dehors de ces actes spéciaux, les animaux inférieurs empruntent aux milieux ambiants une quantité d'énergie notable, quoique non déterminable *a priori*; par cela seul qu'ils tendent continuellement à se mettre en équilibre de température avec ces milieux. De là résulte une différence essentielle, au point de vue des origines de l'énergie qu'ils consomment, entre les animaux à sang froid et les animaux à sang chaud.

Il en résulte également cette conséquence qui ne doit pas être oubliée, à savoir que le signe thermique d'une réaction donnée, accomplie chez des animaux à sang froid, n'a pas d'une manière nécessaire la même signification physiologique que chez des animaux à sang chaud.

2. — L'étude chimique et physiologique des végétaux soulève des questions analogues, car ils sont le siège de deux grandes actions contraires : l'absorption de l'acide carbonique et de l'eau, avec émission d'oxygène, laquelle absorbe de la chaleur ; et l'absorption de l'oxygène, avec émission d'eau et d'acide carbonique, laquelle dégage de la chaleur ; tout cela sans préjudice

des effets thermiques correspondant à l'absorption et à l'excrétion de divers autres principes minéraux et organiques, aux dépens de l'atmosphère, du sol, et des engrais que l'agriculture y ajoute. Insistons toutefois sur cette circonstance que l'influence des phénomènes thermiques intérieurs, sur la température propre des plantes, est d'ordinaire presque insensible, de même chez les animaux à sang froid. Aussi les végétaux sont-ils susceptibles d'emprunter, comme ces derniers, une certaine dose d'énergie calorifique aux milieux ambiants. C'est seulement dans des conditions exceptionnelles, telles que la floraison et la germination, que les végétaux manifestent une certaine élévation de température corrélative de ces actes physiologiques, et produisent une chaleur appréciable, attribuable d'ordinaire à l'absorption de l'oxygène.

Observons enfin que les végétaux n'étant pas aptes à des mouvements spontanés, comme les animaux, ne développent pas de travaux extérieurs sensibles.

Ces oppositions, entre les fonctions thermiques et mécaniques des végétaux et des animaux supérieurs, correspondent avec les caractères également opposés des métamorphoses accomplies dans leurs organismes respectifs. La prédominance

des réactions d'oxydation et de décomposition, c'est-à-dire d'analyse chez les animaux, contraste avec la prédominance des réactions de réduction. et de synthèse chez les végétaux : contraste corrélatif avec le signe contraire de la résultante thermique des réactions accomplies dans les deux règnes.

En effet, la chaleur mise en jeu pendant le développement des végétaux ne résulte pas exclusivement, ou à peu près, des énergies chimiques intérieures, comme chez les animaux supérieurs. Au contraire, les formations de principes qui accompagnent le développement des végétaux sont, pour la plupart, endothermiques; c'est-à-dire qu'elles résultent de l'intervention des énergies extérieures : lumière, chaleurs solaire et terrestre, électricité. Celle de la lumière est bien connue et j'ai étudié, dans une longue série de recherches, quelques autres de ces influences, celle de l'électricité en particulier. Il résulte de ces rapprochements que les végétaux sont de véritables accumulateurs des énergies, empruntées aux milieux ambiants et condensées dans leurs tissus sous forme chimique ; tandis que ces mêmes énergies sont restituées aux milieux ambiants par les animaux supérieurs, sous diverses formes chimiques, mécaniques et calorifiques.

Ainsi l'origine des énergies mises en jeu dans la vie végétale est plus compliquée que dans la vie animale; cependant elle se ramène aux mêmes principes thermo-dynamiques, c'est-à-dire à ceux que je vais exposer.

Envisageons d'abord la chaleur des êtres vivants, indépendamment de l'intervention des énergies extérieures qui viennent d'être signalées.

3. — Que le travail moléculaire des affinités chimiques intérieures, mises en jeu par le concours des principes immédiats des tissus vivants et des aliments avec l'oxygène et l'eau, venus du dehors; que ce travail, dis-je, soit corrélatif avec la somme des deux genres d'énergies fondamentales, qui viennent d'être signalées, les unes répondant aux travaux mécaniques extérieurs accomplis par l'animal, les autres aux travaux moléculaires intérieurs, tant mécaniques que physiologiques et représentés en définitive par la chaleur que ce même animal produit, c'est ce qui est aujourd'hui généralement admis en principe. Mais, pour préciser davantage cette relation, et pour en faire l'application, soit à l'ensemble des phénomènes vitaux, soit aux actes physiologiques spéciaux, accomplis en divers points de l'économie, il faudrait connaître le dé-

tail exact des mouvements et travaux internes, ainsi que celui des réactions qui se succèdent dans le corps des animaux, et le comparer avec le détail des quantités de chaleur correspondantes : or, c'est là un problème extrêmement difficile et dont on commence à peine à entrevoir quelques éléments, malgré les efforts de plusieurs générations de physiologistes. Il ne rentre pas dans mon plan d'examiner les vues, ni surtout les hypothèses accumulées à cet égard. Je me bornerai à exposer les principes thermochimiques qui dominent ces études.

Observons cependant que, jusqu'à ces dernières années, on s'était borné à traiter le problème, sans tenir compte de ces travaux propres et réactions spéciales; comme s'il s'agissait simplement d'une oxydation effectuée sur les corps élémentaires qui composent les principes organiques de l'être vivant, et non sur ces principes eux-mêmes, tels qu'ils ont été engendrés par la combinaison préalable des éléments.

4. — En comparant l'oxygène absorbé avec l'acide carbonique éliminé, on en déduisait autrefois, à l'exemple de Lavoisier, le poids du carbone brûlé (équivalent à l'acide carbonique), auquel on ajoutait le poids de l'hydrogène brûlé (évalué comme équivalent à l'excès d'oxygène

consommé). On calculait alors la chaleur développée, en supposant que la production de l'acide carbonique et celle de l'eau ont dégagé la même quantité de chaleur que si ces productions avaient eu lieu au moyen du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène libres. On avait trouvé ainsi (1), il y a plus d'un demi-siècle, une quantité de chaleur égale aux 9 dixièmes environ de la chaleur réellement cédée par l'animal au calorimètre : résultat suffisant pour montrer que la chaleur animale dépend surtout des réactions chimiques effectuées dans les tissus, mais qui ne saurait être regardé comme la démonstration d'une équivalence rigoureuse. D'ailleurs l'écart deviendrait plus grand, si l'on tenait compte des travaux extérieurs.

Nous verrons plus loin que les recherches les plus récentes, fondées sur les principes qui vont être exposés, ont conduit les physiologistes à une approximation beaucoup plus grande, entre les résultats de l'expérience et les calculs de la théorie.

5. — Pour faire comprendre comment on est parvenu à ce degré d'exactitude, examinons de plus près les bases de ce calcul, tel qu'on l'insti-

(1) GAVARRET. — *De la chaleur produite par les êtres vivants*, p. 221, 1855.

tuait autrefois. Il part d'une hypothèse inexacte.

En effet, les animaux ne brûlent pas du carbone libre et de l'hydrogène libre. D'une part, ils introduisent dans leur corps des aliments, c'est-à-dire des principes organiques très divers, très complexes, et dans lesquels l'état de combinaison des éléments est plus ou moins avancé. D'autre part, les animaux rejettent non seulement de l'acide carbonique, mais aussi de l'urée et d'autres produits excrémentitiels, également complexes.

Dès lors, il convient de tenir compte de l'état réel des corps introduits et des corps rejetés; car c'est la relation chimique entre ces deux ordres de principes qui détermine la quantité de chaleur réellement produite (en supposant d'ailleurs l'état initial et l'état final de l'être vivant identiques).

6. — Rappelons d'abord les énoncés des deux principes fondamentaux (1) sur lesquels repose le calcul rigoureux de la chaleur animale.

PRINCIPE DES TRAVAUX MOLÉCULAIRES

La quantité de chaleur dégagée dans une réaction chimique quelconque mesure la somme

(1) *Essai de mécanique chimique* t. I. p. 1, 1879.

des travaux chimiques et physiques accomplis dans cette réaction.

PRINCIPE DE L'ÉTAT INITIAL ET DE L'ÉTAT FINAL

Si un système de corps simples ou composés, pris dans des conditions déterminées, éprouve des changements physiques ou chimiques, capables de l'amener à un nouvel état, sans donner lieu à aucun effet mécanique extérieur au système, la quantité de chaleur dégagée ou absorbée, par les effets de ces changements, dépend uniquement de l'état initial et de l'état final du système : elle est la même, quelles que soient la nature et la suite des états intermédiaires.

Ce principe résulte du précédent, combiné avec le principe des forces vives, ou du principe de l'énergie, qui en est une forme nouvelle. Il n'est pas évident *a priori*; mais il résulte de la concordance de ses conséquences avec l'ensemble des expériences faites en thermochimie, et cette vérification même peut être regardée comme la démonstration expérimentale du premier principe.

7. — Voici quelles en sont les conséquences dans l'étude de la chaleur animale.

Montrons nettement ce dont il s'agit. La chaleur développée pendant la formation et

la vie des êtres organisés, tant animaux que végétaux, peut être, soit mesurée directement, soit calculée. Mais les mesures directes ne sont praticables que dans les cas où la chaleur développée est considérable ; il est donc essentiel de pouvoir calculer celle-ci *a priori*, tant comme donnée essentielle des études biologiques, que pour contrôler les théories thermochimiques par les résultats des expériences, toutes les fois que celles-ci sont praticables. Les théorèmes suivants fournissent les bases de ces calculs ; ils sont spécialement applicables à la chaleur animale (1). Ces énoncés d'ailleurs ne sont pas seulement applicables à l'ensemble de l'organisme ; mais aussi aux dégagements de chaleur locaux, produits dans l'état normal, ou dans l'état pathologique ; à la condition d'en bien définir toutes les circonstances chimiques et mécaniques. Ils s'étendent aussi aux végétaux ; bien entendu à la condition de tenir un compte séparé des énergies introduites, dans le système des composés qui les constituent, par les agents extérieurs, tels que la lumière, la chaleur ambiante et l'électricité.

---

(1) *Annales de chimie et de physique*, 4e série, 1865, t. VI, p. 442.

THÉORÈME I

La chaleur développée par un être vivant, pendant une période quelconque de son existence, accomplie sans le concours d'aucune énergie étrangère à celle de ses aliments (1), *est égale à la chaleur produite par les métamorphoses chimiques des principes immédiats de ses tissus et de ses aliments, diminuée de la chaleur absorbée par les travaux extérieurs effectués par l'être vivant.*

Ce théorème est une conséquence du second principe fondamental de la thermochimie, énoncé plus haut et relatif à l'*équivalence calorifique des transformations chimiques accomplies entre un état initial et un état final déterminés.*

1. — Il en résulte que l'*entretien de la vie ne consomme aucune énergie qui lui soit propre*; c'est-à-dire aucune énergie qui ne puisse être calculée d'après la seule connaissance des métamorphoses chimiques accomplies au sein de l'être vivant, des travaux extérieurs qu'il

(1) L'oxygène et l'eau sont compris dans cette désignation.

effectue, enfin de la chaleur et plus généralement des énergies qu'il développe, ou reçoit. Cette vérité s'applique également aux animaux et aux végétaux, en tenant un compte convenable des énergies extérieures, susceptibles d'intervenir dans leur évolution.

2. — La durée de la vie elle-même et la nature des métamorphoses intermédiaires ne jouent aucun rôle dans le calcul de l'énergie totale nécessaire à son entretien ; pourvu que les états initial et final de l'être vivant et des matières qu'il assimile, ainsi que les énergies extérieures qu'il reçoit, soient exactement connus.

Quelque intérêt que présentent les actes physiologiques intermédiaires et les transformations chimiques ou calorifiques, qui se produisent entre l'entrée et la sortie des substances mises en jeu durant les péripéties de la nutrition, cependant il est certain que ces actes et transformations n'entrent point dans le calcul thermique de la somme totale.

Certes, cela ne veut pas dire qu'on doive en négliger l'étude au point de vue thermochimique ; mais il convient de traiter celle-ci conformément au principe précédent. Pour y parvenir, les phénomènes seront partagés en plusieurs périodes, définies chacune par un état

initial et un état final déterminé; chacune de ces périodes devra être envisagée séparément : le tout conformément aux théorèmes suivants, auxquels chacun des petits cycles partiels, compris dans la somme totale, devra se conformer.

THÉORÈME II

La chaleur développée par un être vivant qui n'effectue aucun travail extérieur pendant une période donnée de son existence — accomplie sans le concours d'aucune énergie étrangère à celle de ses aliments —, est égale à la différence entre les chaleurs de formation (depuis les éléments), des principes immédiats de ses tissus et de ses aliments réunis, envisagés dans l'état physique et chimique même qu'ils possédaient au début de la période envisagée, et les chaleurs de formation des principes immédiats de ses tissus, joints aux principes immédiats contenus dans ses excrétions; tous ces principes étant envisagés dans l'état physique et chimique qu'ils affectent à la fin de la même période.

1. — Les changements chimiques éprouvés par les principes immédiats des êtres vivants

sont de nature diverse. Ils consistent, soit en oxydations, soit en hydratations et déshydratations, soit en dédoublements. Chacune de ces réactions, étudiée individuellement, peut dégager ou absorber de la chaleur; nous les envisagerons tout à l'heure séparément.

2. — Il résulte de là que le calcul de la chaleur animale ne saurait être établi, comme on l'avait cru autrefois, par la seule connaissance de l'oxygène absorbé pendant la respiration, même jointe à celle de l'acide carbonique expiré.

La connaissance exacte du rapport en volume qui existe entre ces deux substances dans l'état gazeux (*quotient respiratoire*) ne suffit pas davantage, ni pour les végétaux, ni pour les animaux : attendu que cet oxygène n'est employé ni à brûler simplement du carbone libre, comme le supposaient les anciens calculs, ni à former exclusivement de l'acide carbonique gazeux. En fait, l'acide carbonique peut se développer au sein d'un être vivant, sans qu'il y ait absorption d'oxygène; en outre, il peut y demeurer dissous, en tout ou partie, de façon à ne pas se dégager à l'état libre, au moment même où l'oxygène est absorbé.

Aussi le quotient respiratoire ne doit-il être employé dans les études physiologiques qu'avec

beaucoup de réserve. Ses indications, envisagées d'une façon exclusive, sont susceptibles de conduire à beaucoup d'erreurs, parce qu'un semblable rapport ne définit nullement, contrairement à certaines opinions courantes, la nature véritable des principes immédiats qui absorbent l'oxygène disparu, ou qui dégagent l'acide carbonique, dont on constate la mise en liberté. En réalité, le quotient respiratoire ne fournit que des équations chimiques indéterminées ; car une multitude de réactions différentes, dégageant les quantités de chaleur les plus dissemblables, peuvent répondre à un même quotient respiratoire. On reviendra sur cette question.

Ajoutons en outre que les réactions d'hydratation, de déshydratation et de dédoublements dégagent ou absorbent de la chaleur, chacune pour son propre compte, comme il sera dit plus loin ; ces phénomènes thermiques étant surtout marqués pour les composés de l'ordre des nitriles et pour les réactions assimilables à des fermentations.

Or, il est nécessaire de tenir un compte séparé de tous ces effets, si l'on veut évaluer rigoureusement la chaleur animale pendant une période de vie déterminée, longue ou courte

d'ailleurs ; c'est-à-dire qu'il est nécessaire de connaître exactement l'état initial et l'état final du système total, constitué par l'être vivant, ses aliments, l'oxygène qu'il absorbe, l'acide carbonique, l'eau et les substances diverses qu'il rejette.

A fortiori en sera-t-il ainsi pour les quantités de chaleur localisées dans un organe spécial : soit qu'il s'agisse d'une période de temps où l'on réussisse à démontrer — chose difficile — que l'organe est revenu exactement à son état initial ; soit encore que l'on établisse quelles variations l'organe a éprouvées dans sa composition chimique.

3. — Pour bien faire comprendre le sens du théorème II, il est utile d'ajouter que les travaux mécaniques accomplis à l'intérieur d'un organisme animal, tels que les battements du cœur, la circulation du sang, les frottements et destructions internes de mouvement, les contractions musculaires qui ne sont accompagnées d'aucun travail extérieur, n'interviennent pas dans le calcul de la chaleur totale, développée pendant un cycle donné ; sous la condition toutefois que ces travaux mécaniques ne déterminent aucun changement physique ou chimique permanent dans l'état initial de cet organisme. Ce résultat mérite d'autant plus l'attention qu'il contredit

absolument les opinions des anciens, qui attribuaient la chaleur animale aux frottements intérieurs, opinions dont on retrouve la trace, même chez certains physiciens, jusqu'au milieu du siècle actuel.

De tels travaux intérieurs sont, au contraire, susceptibles d'intervenir lors des productions de chaleur localisées dans un organe déterminé. Mais il est alors extrêmement difficile de définir les phénomènes chimiques correspondants, à cause de la circulation qui répartit sans cesse les composés de nouvelle formation dans l'ensemble de l'économie. Il n'est guère plus praticable de définir les transformations d'énergie, susceptibles d'être transmises au loin par le système nerveux. Il semble, en effet, que ce système joue souvent un rôle analogue à celui des conducteurs électriques, qui transportent l'énergie produite sur un point de l'économie, dans un autre lieu : c'est ce qui paraît résulter du moins de l'étude des actions reflexes qui déterminent certaines métastases et phénomènes de dynamogénie. Souvent aussi la fatigue, traduction de l'usure chimique qui répond à la production de l'énergie, se manifeste dans un organe fort éloigné de celui où se sont accomplis les travaux qui ont consommé cette énergie.

Certaines influences analogues, au point de vue purement thermique, résultent des dissolutions et liquéfactions intérieures de gaz, de liquides, ou de solides, contenus dans l'économie, ainsi que des opérations inverses de solidification et de vaporisation ; bien entendu, à cette condition que tous les corps se retrouvent à la fin dans un état physique et chimique absolument identique à celui qu'ils possédaient au début. Si cet état a changé, il est clair que l'on doit tenir un compte exact de la chaleur mise en en jeu dans le changement.

THÉORÈME III. ÉTAT D'ENTRETIEN

La chaleur développée par un être vivant qui ne reçoit le concours d'aucune énergie étrangère à celle de ses aliments et qui n'effectue aucun travail extérieur, pendant la durée d'une période à la fin de laquelle l'être se retrouve identique à ce qu'il était au commencement, est égale à la différence entre les chaleurs de formation de ses aliments (l'oxygène et l'eau étant compris sous cette dénomination) et celles de ses excrétions (eau et acide carbonique compris).

Ce théorème peut être appliqué à l'étude d'un

animal adulte, à sang chaud, en état de santé parfaite, qui respire et se nourrit sans varier de poids et sans éprouver de modification appréciable dans son état, au début et à la fin d'une période donnée de son existence.

En toute rigueur, il faudrait même démontrer que la nature et la proportion des principes immédiats constitutifs du corps vivant se retrouvent identiques : démonstration à peu près impossible. Tout que l'on peut faire c'est d'établir la conservation du poids et de l'état général de santé de l'être. C'est sous ces réserves qu'il est permis d'invoquer les observations des physiologistes, telles que celles de Vierordt, d'après lesquelles un animal a consommé, dans un temps donné, 520 litres d'oxygène ; tandis que le bilan de sa nutrition, calculé d'après la composition des aliments et des *excreta*, en aurait exigé $518^{l},4$. D'où ressort le fait de la conservation du poids de l'ensemble du corps et des éléments oxydables qui le constituent. Mais si la distribution même de ces éléments entre divers composés était devenue différente à la fin de la période envisagée, la preuve perdrait de sa valeur, au point de vue de la chaleur animale.

La vérification expérimentale du théorème thermochimique qui vient d'être énoncé résulte

encore des mesures et calculs de Rubner, d'après lesquels la chaleur de combustion des *ingesta*, diminuée de celle des *excreta*, rend compte aussi exactement que possible de la chaleur produite, dans une période donnée.

En effet, de telles conditions étant supposées réalisées, le calcul de la chaleur animale devient facile, du moins en théorie, attendu qu'il n'exige pas la connaissance de l'état actuel des principes immédiats de l'être vivant lui-même. Mais ce calcul serait en défaut pour un être qui se développe, tel qu'un embryon, ou un petit enfant; ou bien encore pour un être qui dépérit, tel qu'un malade, ou un vieillard épuisé.

La notion de l'état d'entretien n'est même pas applicable à un adulte à sang chaud, pour une période où il a effectué un travail considérable, capable d'amener une altération profonde dans la constitution chimique de ses tissus, laquelle se traduit par la fatigue et le surmenage. Il ne revient pas alors à son état initial dans l'espace de 24 heures; la fatigue persiste souvent plus longtemps, et l'être vivant continue à éliminer les produits usés pendant plusieurs jours. Dans les cas de ce genre, il faut une période de temps beaucoup plus longue pour que l'on puisse admettre un retour parfait à l'état initial. Ce sont

là des conditions qui n'ont pas toujours été respectées dans les études physiologiques.

Leur influence est bien plus marquée encore chez les animaux à sang froid, tels que les reptiles, qui ne prennent leur nourriture qu'à de longs intervalles, et n'éliminent leurs excréments que d'une façon très espacée et irrégulière. Parmi les reptiles, les crustacés et les animaux à sang froid qui ne périssent pas chaque année, comme le font les insectes, il en est beaucoup qui semblent susceptibles de prolonger indéfiniment leur développement et leur accroissement de poids et de grandeur. Dès lors le théorème de l'état d'entretien ne leur est pas applicable.

Ce sont là des observations également vraies pour les végétaux annuels, qui sont à l'état d'évolution d'abord et d'accroissement incessant, à partir de l'état de graine jusqu'à la floraison ; puis à l'état régressif, jusqu'à la fructification et la marcescence. Elles s'appliquent aussi aux végétaux vivaces et aux arbres, dont la grandeur augmente sans cesse pendant un grand nombre d'années.

On ne saurait non plus employer le théorème de l'état d'entretien pour un organe envisagé isolément, par abstraction, au sein d'un

animal ; à moins d'établir l'identité de sa composition chimique au commencement et à la fin de la période envisagée. Soit un muscle, par exemple, durant une période donnée de son activité, on ne saurait arriver à des conclusions exactes, en se bornant à établir une équation entre les corps suivants : oxygène, acide carbonique et glucose du sang, dosés à l'entrée et à la sortie du muscle, tantôt en travail, tantôt en repos.

Cette équation est tout à fait insuffisante. Il faudrait, en outre, faire intervenir : d'une part, la variation inconnue, en proportions et en nature, des principes immédiats contenus dans le muscle, au début et à la fin de la période envisagée; et d'autre part, la variation, également inconnue en proportion et en nature, des principes immédiats contenus dans le sang, à l'entrée et à la sortie de l'organe. Or, cette évaluation est d'autant plus difficile que le sang s'y renouvelle continuellement, pendant toute la durée de la période envisagée. En raison de l'ignorance où nous sommes de l'ensemble et du détail de ces variations, tout calcul chimique et thermique de ce genre demeure conjectural.

THÉORÈME IV. TRAVAUX EXTÉRIEURS

La chaleur développée par un être vivant qui effectue des travaux extérieurs — toujours sans le concours d'une énergie étrangère à celle de ses aliments, et sans éprouver de changement appréciable dans sa constitution physique et chimique —, peut être calculée d'après la différence qui existe entre la chaleur de formation de ses aliments et celle de ses excrétions, diminuée d'une quantité équivalente au travail accompli.

Tel est le cas d'un manœuvre ou d'un homme effectuant l'ascension d'une haute montagne, dans l'hypothèse où ses muscles et ses divers tissus et humeurs n'éprouveraient aucun changement capable de modifier la nature ou la proportion des principes immédiats qui les constituent.

Une telle hypothèse ne paraît d'ailleurs guère répondre aux circonstances réelles d'une semblable ascension, laquelle est accompagnée en général d'un certain surmenage, c'est-à-dire d'une usure des matériaux de l'organisation, traduite par la fatigue et la nécessité d'une réparation plus ou moins prolongée, leur élimination n'étant pas immédiate.

Observons surtout que les travaux extérieurs ne comprennent pas seulement les travaux mécaniques proprement dits, mais aussi la marche, les déplacements du corps, toute lutte contre des résistances extérieures; sans oublier l'aspiration et l'expiration de l'air atmosphérique pendant la respiration, ainsi que les travaux moléculaires accomplis par le fait de l'évaporation de l'eau, dans les poumons et à la surface de la peau.

Il convient de faire rentrer dans la même réserve l'intervention de la chaleur extérieure, dans le cas où l'être vivant se trouverait plongé au sein d'un milieu de température supérieure à la sienne propre. A la vérité, cette condition n'est pas compatible avec le maintien de la vie chez les animaux supérieurs, lorsqu'elle se prolonge indéfiniment. Mais elle est, au contraire, courante dans l'existence des animaux à sang froid et les végétaux.

THÉORÈME V. ÉVOLUTION PROGRESSIVE ET RÉGRESSIVE

Si un être vivant, animal ou végétal, se développe pendant une certaine période de son existence, sans effectuer aucun travail extérieur, l'énergie consommée pendant ce déve-

loppement peut être calculée d'après la différence qui existe entre les deux quantités suivantes :

1° *La chaleur de formation de ses aliments, ajoutée à la chaleur de formation des principes constitutifs de l'être vivant, au début de la période envisagée.*

2° *La chaleur de formation de ses principes constitutifs, ajoutée à celle de ses excrétions, à la fin de la même période.*

Pour évaluer cette énergie, on ne doit pas oublier qu'elle est fournie en partie par le système initial des principes constitutifs de l'être vivant et de ses aliments; en partie par les énergies calorifiques, lumineuses, électriques, empruntées ou cédées au milieu ambiant.

Le même calcul s'applique à toute évolution, qu'elle soit progressive ou régressive.

Les théorèmes précédents sont, je le répète, les fondements de la théorie moderne de la chaleur animale.

Ils ont un sens clair et bien défini quand on les applique comme on vient de le faire, à un être vivant pris dans son ensemble.

Les mêmes notions sont également applicables, en principe, aux dégagements et absorptions de chaleur susceptibles de s'accomplir au

sein d'un organe localisé, soit dans des conditions normales, soit dans des conditions pathologiques. Mais, pour cet ordre de phénomènes, les calculs et les raisonnements sont beaucoup plus délicats et les conditions de leur application plus incertaines. En principe, il convient alors d'envisager l'organe étudié comme un tout, et de définir nettement, pour une période de temps déterminé :

1° Son état initial, aux points de vue chimique, physique, mécanique, calorifique, parfois même électrique ;

2° Son état final, aux mêmes points de vue ;

3° Les énergies extérieures qu'il reçoit sous les formes multiples qui viennent d'être signalées ;

4° Les pertes d'énergies qu'il éprouve, sous ces mêmes formes.

Les apports et les éliminations, attribuables à la circulation incessante du sang dans l'organe que nous envisageons ont, à cet égard, une importance capitale chez les animaux supérieurs.

Précisons davantage le point de vue thermochimique, je veux dire les réactions oxydantes, hydratantes et autres, développées dans les êtres vivants, et les dégagements de chaleur correspondants.

THÉORÈME VI. OXYDATIONS DIRECTES ET INDIRECTES

Les oxydations effectuées dans les êtres vivants, par l'oxygène déjà combiné, ne dégagent pas la même quantité de chaleur que les oxydations par l'oxygène libre : la différence est égale à la chaleur dégagée (ou absorbée), lors de la première combinaison.

1. — Ce résultat s'applique immédiatement à la chaleur animale. Il s'applique également à ce que l'on a appelé la *vie sans air*, envisagée comme condition de certaines fermentations.

Soit d'abord la chaleur animale. Les oxydations des animaux supérieurs s'effectuent dans l'épaisseur de leurs tissus, à l'aide de l'oxygène fixé à l'avance sur les globules du sang. Elles y produisent donc en moins toute la chaleur dégagée au moment où l'oxygène a été fixé sur les globules; quantité que j'ai mesurée et qui forme une fraction notable, le septième environ, de la chaleur de combustion totale des aliments, opérée par le même poids d'oxygène libre.

2. — A la vérité, la chaleur dégagée, au moment de la fixation de l'oxygène sur les globules du sang, se retrouve dans l'évaluation totale de

la chaleur animale ; puisque cette première fixation a lieu dans l'intérieur du corps. La quantité totale de chaleur dégagée demeure donc la même, que si l'oxygène libre agissait directement. Mais cette quantité se partage en deux portions, fort distinctes par leur localisation :

L'une étant dégagée au sein des poumons, en raison de la production de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, éliminés au dehors, à la suite du contact du sang avec l'air, dans les capillaires de cet organe ;

L'autre, au contraire, étant développée dans l'épaisseur des divers tissus, répartis au sein du corps tout entier, c'est-à-dire au lieu même des métamorphoses consécutives ; voire même en plusieurs lieux successifs, si ces métamorphoses ne produisent pas du premier coup une combustion complète.

3. — On vient de voir combien est grand le premier dégagement de chaleur : il semble donc que la température des poumons devrait en être affectée notablement. Mais, en réalité, cette chaleur dégagée dans les poumons n'en surélève pas sensiblement la température, et cela pour deux raisons.

La première, c'est parce qu'elle est compensée en partie sur place par la chaleur absorbée au

moment où l'acide carbonique se dégage, sous un volume gazeux à peu près égal à celui de l'oxygène absorbé. Rappelons que la dernière quantité de chaleur avait été développée en plus dans les tissus, sur le lieu même de la réaction préalable qui a formé l'acide carbonique.

L'autre raison qui modère la température des poumons, c'est que le poids de l'oxygène, fixé à chaque instant sur le sang qui circule dans les capillaires de ces organes, est très petit. En effet, chez l'homme il est voisin de 10 à 12 milligrammes par seconde, dans l'ensemble du réseau pulmonaire. Or la minime quantité de chaleur, ainsi développée à chaque instant, est immédiatement répartie entre tous les organes du corps, par le sang entraîné d'une façon rapide et continue à travers le système circulatoire.

Ses effets ne sauraient donc se concentrer et s'accumuler sur un point limité des poumons.

En outre, il se produit, au sein de l'organisme, des compensations locales, susceptibles de se faire en des endroits très divers, suivant des proportions fractionnées, très inégales d'ailleurs. Tandis que l'oxygène agit dans les tissus à l'état déjà condensé, c'est-à-dire uni à l'hémoglobine du sang, les produits des oxydations locales sont, pour la plupart, des composés in-

termédiaires, distincts de l'eau et de l'acide carbonique, et naturellement liquides, ou dissous, plus rarement solides.

Il en est de même pour les plantes, lorsqu'on calcule l'effet thermique des oxydations, attribuables à l'absorption directe de l'oxygène de l'air et susceptibles de développer non seulement de l'acide carbonique et de l'eau, mais aussi des produits moins oxydés, liquides ou solides, tels que les acides et les aldéhydes, produits susceptibles eux-mêmes de tranformations ultérieures.

Une observation spéciale, mais d'une application qui semble fort générale, s'applique aux oxydations effectuées sons l'influence des ferments solubles, dans les plantes ou dans les laboratoires. L'oxygène, en effet, semble s'engager d'abord dans certaines combinaisons intermédiaires, qui le transmettent aux substances oxydables. Tel est le peroxyde d'éthyle, corps transitoire éminemment oxydant, formé par l'action de l'ozone sur l'éther, ou même, plus lentement, par l'action de l'oxygène ordinaire; tel est le cas de l'essence de térébenthine oxydée d'abord à l'air, et qui se régénère en cédant son oxygène à l'indigo. Les oxydations de ce genre sont assimilables aux oxydations accomplies

dans l'économie par l'intermédiaire de l'hémoglobine du sang, prenant l'oxygène libre dans les poumons, pour le transporter et le céder aux principes immédiats de l'organe, en se régénérant elle-même incessamment. Dans les cas de cet ordre toute la chaleur développée peut être calculée comme produite par une oxydation directe, l'hémoglobine et l'essence de térébenthine revenant à un état final identique avec leur état initial. Mais il n'en est pas de même pour les intermédiaires comparables au peroxyde d'éthyle, lequel fixe les éléments de l'eau et se change en alcool, en même temps qu'il cède son excès d'oxygène. Ce sont là des circonstances susceptibles également de se présenter dans le cours des réactions des ferments solubles oxydants.

4. — Tous ces effets sont exothermiques : mais la réduction de l'acide carbonique et de l'eau, avec dégagement d'oxygène et formation d'hydrates de carbone, au sein des végétaux, donne lieu à des remarques inverses : les produits, que cette réduction engendre, n'étant pas formés à partir des éléments libres, carbone, hydrogène et oxygène. C'est ce qu'il est facile de comprendre ; car, en général, la formation des principes végétaux hydrocarbonés par leurs éléments dégage moins de chaleur que celle de l'eau

et de l'acide carbonique, à partir des mêmes éléments. Par conséquent, la métamorphose qui préside à la formation de semblables produits, par exemple à celle des sucres et hydrates de carbone, obtenus par réduction à partir de l'acide carbonique et de l'eau, est endothermique; c'est-à-dire qu'elle réclame le concours de certaines énergies extérieures, empruntées à la lumière, je veux dire à la radiation solaire. Des énergies extérieures d'un ordre analogue interviennent également dans certaines circonstances, lors de la formation des composés azotés dérivés de l'azote libre, sous l'influence de l'électricité silencieuse atmosphérique.

Observons, à un point de vue plus particulier, que la chaleur absorbée sera différente, suivant que l'acide carbonique est emprunté à l'air sous forme gazeuse, ou préalablement dissous dans l'eau ; comme il arrive probablement lors de sa décomposition dans les plantes sous une influence chlorophyllienne. L'acide carbonique pourrait même s'introduire, préalablement combiné aux bases sous forme de bicarbonates, avant d'être décomposé au sein de l'être vivant.

La chaleur absorbée varie également, suivant que les principes de nouvelle formation sont produits dans l'économie à l'état dissous, ou bien

éliminés à l'état de sécrétions gazeuses, ou volatiles, liquides, ou solides; enfin dans le cas où les matières génératrices ne sont pas uniquement l'eau, l'acide carbonique et l'azote libre, mais des composés préexistants, susceptibles de former ultérieurement, des principes nouveaux : par exemple, en demeurant combinés avec certains autres composés.

Tel est notamment le cas de la fixation de l'azote libre sur les microbes contenus dans la terre végétale, dans le cas où cette fixation est corrélative, ainsi que je l'ai démontré, de la transformation de certains principes hydrocarbonés, mis à la disposition de ces microbes et utilisés pour leur nutrition (1). L'énergie mis en jeu dans cette transformation, aussi bien que celle de l'électricité, jouent un rôle essentiel dans la fixation naturelle de l'azote par les principes immédiats des êtres vivants.

5. — Envisageons, en particulier, les faits applicables à la vie sans air, c'est-à-dire aux êtres anaérobies. Ce mot un peu vague et en tout cas trop absolu de vie sans air a été mis en avant pour donner une apparence d'explication à l'ac-

(1) *Annales de Chimie et de Phys.* 6e série, t. XXX, p. 430.

tion de certains ferments : on supposait ceux-ci susceptibles d'emprunter l'oxygène nécessaire pour leur développement à des principes oxygénés, au lieu de puiser cet oxygène à l'état libre dans l'atmosphère.

Mais cette opinion que les bactéries se développent aux dépens de l'oxygène combiné, c'est-à-dire en puisant les atomes d'oxygène isolés au sein d'une molécule hydrocarbonée suivant un processus parallèle à celui des animaux supérieurs développés aux dépens de l'oxygène libre, n'a été justifiée jusqu'ici par aucune expérience précise.

En réalité, on a confondu sous ce mot de vie sans air toutes les actions réductrices, effectuées dans les tissus animaux ou végétaux, par quelque cause que ce soit. Ce mot d'ailleurs ne s'applique à aucun degré, ni aux fermentations oxydantes qui exigent le concours de l'oxygène libre ; ni à la vie des cellules qui provoquent la fermentation glucosique du sucre de canne; ni même à la fermentation alcoolique, envisagée comme un dédoublement des sucres.

Quoi qu'il en soit, si nous examinons les réactions possibles où l'oxygène serait ainsi transporté d'un principe organique, qui éprouve une réduction, sur un autre principe, qui éprouve

une oxydation, un calcul exact montre qu'il peut y avoir :

Tantôt un dégagement de chaleur, produit aux dépens des énergies intérieures des systèmes : ce qui est le cas général des fermentations ;

Tantôt une absorption de chaleur; ce qui exige le concours d'une énergie étrangère, telle que celle de la lumière, ou de l'électricité, ou d'une autre action chimique simultanée et exothermique. Dans tous les cas, la chaleur mise en jeu se calcule en vertu du théorème V, c'est-à-dire en retranchant la chaleur de formation des principes initiaux, de la chaleur de formation des principes finaux.

THÉORÈME VII. OXYDATIONS TOTALES

L'oxydation totale d'un principe immédiat au moyen de l'oxygène libre, c'est-à-dire sa transformation intégrale en eau et acide carbonique, dégage une quantité de chaleur égale à la différence entre les chaleurs de combustion de ses éléments et sa propre chaleur de formation, depuis les mêmes éléments.

1. — En général, dans l'étude de l'état d'entretien, pour la chaleur animale notamment, on doit envisager les aliments comme complète-

ment brûlés, c'est-à-dire changés en acide carbonique et eau; attendu que l'on admet l'identité de l'état initial et de l'état final, périodiquement reproduite pendant une certaine durée de l'existence de l'être. C'est ce qui justifie l'application du théorème.

Il n'est vrai d'ailleurs, même théoriquement, que pour les aliments hydrocarbonés; les aliments azotés n'éliminant presque jamais l'azote en nature. En fait, dans les organismes supérieurs, ce dernier élément est éliminé principalement à l'état d'urée et de quelques autres composés analogues. Pendant le cours de la vie végétale elle-même, l'azote n'est dégagé à l'état libre que dans des conditions exceptionnelles.

2. — Ces réserves faites, passons en revue quelques-unes des conséquences qui résultent du théorème précédent. Ainsi, par exemple, l'oxydation totale de l'alcool du vin, lequel est dissous dans une grande quantité d'eau, change cet alcool en eau et acide carbonique dissous, en dégageant, pour 46 grammes d'alcool, la différence entre la chaleur de combustion de ces éléments, supposés libres, et la chaleur de formation de l'alcool par ces mêmes éléments, c'est-à-dire :

Chaleur de combustion

Pour 24 grammes de carbone diamant	+ 199,8	Calories
Pour 6 grammes d'hydrogène . .	+ 207	//
Retranchons la formation de l'alcool dissous par ces mêmes éléments	— 72,4	//
Il reste pour son oxydation . . .	+ 334,4	//

D'une façon plus générale, il résulte de ces notions que la fixation d'un même poids d'oxygène sur un principe immédiat, qu'il change entièrement en eau et en acide carbonique, peut dégager des quantités de chaleur fort inégales. Soit 16 grammes d'oxygène, employés à brûler complètement les corps suivants, avec formation de gaz carbonique et d'eau liquide :

Carbone diamant, dégage	+ $47^{Cal},15$
Hydrogène, dégage	+ 69, 0
Carbone et hydrogène, dans les rapports d'un corps homologue, formé avec addition de $C + H^2 + O^3$, $\frac{163,3}{3}$, c'est-à-dire pour O	+ 54, 4
Glucose cristallisé	+ 56, 1
Acide formique liquide	+ 61, 7
Alcool pur	+ 54, 3
Acide acétique liquide	+ 52, 35
// butyrique	+ 52, 4
// stéarique solide	+ 52, 35
// benzoïque cristallisé	+ 51, 5
// oxalique cristallisé	+ 60, 0
// lactique liquide	+ 54, 9
// tartrique cristallisé	+ 56, 2
// citrique cristallisé	+ 52, 8
// humique	+ 53, 6

Ces nombres sont à peu près les mêmes pour la plupart des acides gras, contrairement à une opinion assez accréditée; mais ils peuvent différer jusqu'à un sixième en plus pour d'autres composés hydrocarbonés. Ces différences existent, même dans le cas où le volume de l'acide carbonique produit est égal à celui de l'oxygène absorbé, c'est-à-dire où le quotient en volume, $\frac{CO^2}{O}$, est égal à l'unité. Par exemple, l'acide acétique produirait ainsi . . . . + 52,3
et le glucose . . . . . + 56,4

Les divers hydrates de carbone, glucoses et polyglucosides, dégagent des quantités de chaleur peu différentes, en étant brûlés complètement par un même poids d'oxygène.

Les corps gras naturels s'écartent peu également de l'acide stéarique, sous ce rapport, lorsqu'on oxyde complètement des poids convenables de ces corps par un même poids d'oxygène libre.

On remarquera que les hydrates de carbone, tels que le glucose, dégagent environ 7 à 8 centièmes de chaleur de plus que les acides gras, en consommant un même poids d'oxygène. Le quotient respiratoire varie d'ailleurs bien davantage, étant égal à 1,0 pour les hydrates de carbone, tandis qu'il est voisin de 0,70 pour les corps gras ; toujours dans l'hypothèse d'une

combustion totale. Ce même quotient s'éleverait vers 0,78 pour les albuminoïdes, si la combustion en était complète ; hypothèse qui ne répond pas d'ailleurs aux phénomènes véritables, observés chez les animaux.

3. — Les principes azotés donnent lieu à des différences bien plus considérables, lesquelles varient selon la forme que prend l'azote dans la combustion : notamment s'il devient libre, ou bien s'il est éliminé à l'état d'urée. Ce dernier cas devant être traité plus loin séparément, je me bornerai à citer les chiffres suivants, relatifs aux combustions totales où l'azote devient libre.

16 grammes d'oxygène employés à brûler complètement

Combustion des corps azotés

Gaz ammoniac	dégagent	+ 60,^{Cal}9
Méthylamine gazeuse	//	+ 54, 0
Éthylamine liquide	//	+ 53, 7
Aniline liquide	//	+ 52, 8
Nicotine liquide	//	+ 53, 0
Indol	//	+ 52, 5
Amide formique dissous	//	+ 53, 4
Amide acétique cristallisé	//	+ 52, 4
Oxamide cristallisé	//	+ 49, 2
Urée cristallisée	//	+ 50, 5
Acide urique cristallisé	//	+ 51, 3
Asparagine cristallisée	//	+ 49, 8
Leucine cristallisée	//	+ 51, 9

Combustion des corps azotés (suite)

Nitrile formique liquide (acide cyanhydrique)	//	+ 63, 7
Nitrile acétique liquide	//	+ 53, 0
Nitrile oxalique gazeux (cyanogène)	//	+ 66, 2
Nitrite glycollique liquide	//	+ 57, 1
Nitrile succinique liquide	//	+ 54, 5
Albumine solide	//	+ 52, 3

4. — En définitive, d'après l'ensemble de ces résultats, un même poids d'oxygène, tel que 16 grammes, employé pour l'oxydation totale d'un principe organique, dégage des quantités de chaleur qui ne diffèrent pas extrêmement entre elles. Elles ne s'écartent d'ailleurs pas beaucoup de la moyenne relative à la somme homologue $C + H^2$ . . . . . $+ 54^{Cal},4$.

Les écarts les plus grands sont compris, d'une part, entre. . . . . 61,7 et 51,5 (composés ternaires hydrocarbonés);
et, d'autre part, entre . . . . 66,2 et 49,2 (composés azotés).

Encore les écarts extrêmes s'observent-ils seulement pour les premiers termes des séries, contenant 1 ou 2 atomes de carbone. Si on les néglige, pour tenir compte uniquement des principes les plus répandus, les limites se réduisent entre . . . . . 56,4 et 51,5

pour les composés exempts d'azote ;
et, pour les composés azotés, entre 54,5 et 51,3 ; la différence ne s'élevant pas au-delà du douzième de la chaleur totale.

On se rend compte par là des raisons empiriques et fortuites, pour lesquelles on avait cru constater au commencement de ce siècle, que la chaleur animale serait proportionnelle à l'oxygène consommé.

Mais il convient d'observer que de telles différences répondent à des quantités d'énergie considérables, lorsque le nombre d'atomes d'oxygène absorbés est notable ; ainsi qu'il arrive pour les principes à poids moléculaire élevé.

On remarquera encore que les nombres relatifs aux principes azotés seraient à peu près les mêmes que pour les principes exempts d'azote. Mais ce dernier rapprochement a peu d'intérêt pratique, l'azote n'étant pas, en général, éliminé à l'état libre, dans les combustions opérées à la température ordinaire, au sein des tissus vivants.

Une telle circonstance a pour effet d'abaisser la chaleur de combustion des albuminoïdes d'un sixième environ, en supposant la formation de l'urée ; elle l'abaisse même des trois dixièmes chez l'homme, si l'on tient compte de la composition réelle des excreta.

Pour montrer toute l'importance de ces notions, il convient de rappeler que, d'après les chiffres fournis par les chaleurs de combustion totale des matières alimentaires, le rendement en travail de la machine animale serait évalué à 20 centièmes environ.

De même, on a évalué le poids isodynamique des divers aliments à 100 pour la graisse, à 230 environ pour les hydrates de carbone, et même pour l'albumine, etc.; ces quantités étant supposés telles qu'un animal fournisse le même travail, tandis que son poids absolu demeurerait stationnaire.

Ainsi les chaleurs de combustion fournissent, à ces divers égards, les indications les plus utiles. Cependant elles ne sauraient servir à définir des règles absolues : la pratique introduisant dans ce genre de problèmes des données forts diverses, les unes d'ordre physiologique, les autres d'ordre industriel et économique.

THÉORÈME VIII. OXYDATIONS INCOMPLÈTES

L'oxydation incomplète d'un principe immédiat par l'oxygène libre, dégage une quantité de chaleur égale à la différence entre la cha-

leur de combustion du principe immédiat et celle des produits actuels de sa transformation.

1.— Le cas dont il s'agit est très général : l'oxydation des principes organiques, dans les animaux comme dans les végétaux, s'effectuant par étapes successives, et souvent dans des organes différents, lesquels peuvent devenir ainsi le siège localisé de dégagements de chaleur successifs.

2. — Une même quantité d'oxygène peut dès lors dégager des quantités de chaleur extrêmement inégales, dans le processus des oxydations partielles. Par exemple, une même quantité d'oxygène, en se fixant sur des corps tels que les alcools, pour les transformer en acides correspondants, sans que le nombre d'équivalents du carbone dans le composé nouveau soit changé, dégage des quantités de chaleur qui varient entre des limites fort étendues. Soient les oxydations successives de l'alcool liquide, C^2H^6O :

Un premier atome d'oxygène, 16 grammes, est susceptible de produire de l'aldéhyde liquide $C^2H^6O + O = C^2H^4O + H^2O$, dégage $+ 56^{Cal},2$; si tous les corps étaient dissous (sauf l'oxygène) : on aurait . . . . . $+ 57,3$.

Un second atome d'oxygène produit de l'acide acétique

$$C^2H^4O \text{ liq.} + O = C^2H^4O^2 \text{ liq.}$$

et dégage . . . . . + 60,1 ;

Si tous les corps étaient dissous :

on aurait . . . . . + 56,9.

Un troisième atome d'oxygène produit l'acide glycollique, $C^2H^4O^3$; soit, tous les corps étant dissous . . . . . $+ 39^{Cal},9$.

Un quatrième atome d'oxygène produit de l'acide oxyglycollique, $C^2H^4O^4$; soit, tous les corps dissous . . . . . $+ 41^{Cal},1$.

Un cinquième atome d'oxygène produit l'acide oxalique, $C^2H^2O^4 + H^2O$; soit, tous les corps dissous . . . . . $+ 65^{Cal},7$.

Enfin, un sixième atome d'oxygène produit définitivement l'acide carbonique, le résultat ultime étant $2CO^2 + H^2O$; soit, tous les corps dissous . . . . . $+ 73^{Cal},3$.

Si l'acide carbonique prend l'état gazeux, ce nombre tombe à . . . . . $+ 63^{Cal},1$.

Remarquons que la dernière chaleur dégagée, par un même poids d'oxygène fixé dans ces oxydations successives, rapportées à l'état dissous, varie de. . . . . $+ 39^{Cal},9$ à $+ 73^{Cal},3$; presque du simple au double. Elle va tantôt en diminuant, tantôt en augmentant, à mesure que l'oxydation d'un même principe s'accroît; et elle se modifie suivant les changements de fonction chimique et de condensation, survenues

dans le carbone de la molécule successivement oxydée.

Ce n'est pas ici le lieu de développer les relations générales qui président à ces variations de fonction et de condensation ; on en trouvera d'ailleurs le détail dans mon ouvrage intitulé : *Thermochimie : données et lois numériques*, tome 1er.

Dans tous les cas, des circonstances analogues sont susceptibles de se produire pour les réactions accomplies au sein des êtres vivants. Rappelons seulement qu'un même poids d'oxygène peut posséder, dans les oxydations incomplètes, un pouvoir thermogène variant de $+ 39^{Cal},9$ à . . . . . $+ 73^{Cal},3$.

Quant au quotient respiratoire $\frac{CO^2}{O}$, il est égal à zéro pour les réactions qui ne produisent pas d'acide carbonique : telles sont les cinq premières signalées plus haut ; tandis qu'il devient égal à 4,0 pour la dernière. Ce sont là des variations qu'il convient de ne jamais oublier, surtout lorsqu'on discute les phénomènes thermiques accomplis dans un organe spécial, ou dans un être malade.

En tout cas, il importe de répéter que ce quotient ne fournit aucune notion relative à la nature véritable des principes oxydés.

3. — Entrons dans quelques détails plus circonstanciés, en signalant certaines données spéciales, susceptibles d'applications à la chaleur animale.

Observons d'abord que, dans tous les cas qui vont être présentés, le quotient $\frac{CO^2}{O}$ est nul, quoique la chaleur dégagée et le poids de l'oxygène absorbé soient considérables.

Soit une oxydation déterminant un même changement de fonction, celle d'un alcool en aldéhyde, par exemple (les corps étant envisagés à l'état de pureté) :

$$C^nH^{2p} + {}^2O + O = C^nH^{2p}O + H^2O.$$

La chaleur dégagée dans la série grasse, par la formation du composé $C^nH^{2p}O$, est représentée à peu près par la formule suivante : $+ 58{,}6 - 1{,}4n$; c'est-à-dire qu'elle diminue à mesure que l'on opère sur un alcool à molécule plus condensée. Elle serait également moindre pour le premier degré d'oxydation d'un alcool polyatomique : tel que la mannite, changée en glucose, soit $+ 51{,}3$; que pour l'alcool ordinaire changé en aldéhyde, soit . . . . . $+ 60{,}3$.

La transformation d'un alcool en acide donne lieu à des remarques analogues. Ainsi elle four-

nirait pour l'alcool méthylique changé en acide formique :

CH^4O dissous $+ O^2 = CH^2O^2$ dissous $+ H^2O$ dégage. . . . . $+ 106^{Cal},9$;

pour l'alcool ordinaire changé en acide acétique, $C^2H^4O^2$ (état dissous) . . . . . $+ 114,2$;

pour l'alcool isobutylique changé en acide isobutyrique, $C^4H^8O^2$ . . . . . $+ 116,8$.

Il paraît donc y avoir quelque accroissement thermique, lorsqu'on effectue le passage de la fonction alcool à la fonction acide pour des termes homologues de plus en plus élevés de la série grasse. Mais il semble que ce soit là un cas exceptionnel. En tout cas, les données expérimentales, relatives aux chaleurs de combustion des alcools et acides gras peu volatils, ne sont pas assze bien fixées pour que cette relation puisse être regardée comme démontrée.

Voici maintenant quelques chiffres relatifs à l'oxydation des alcools polyatomiques, changés en acides bibasiques correspondants ; tous les corps étant supposés dissous, comme il arrive dans l'économie. Soit par exemple :

$C^2H^6O^2$ (glycol dissous) $+ 2O^2 = C^2H^2O^4$ (diss.) $+ 2H^2O$, dégage. . . . . $+ 219,3$

$C^3H^8O^2$ (dissous) $+ 2O^2 = C^3H^4O^4$ (dissous) $+ 2H^2O$, dégage . . . . . $+ 218,4$,

On remarquera que ces valeurs sont un peu inférieures au double de celles relatives aux alcools monoatomiques correspondants, lesquels répondent à une consommation précisément double d'oxygène.

La transformation d'un acide monobasique à fonction simple en un acide-alcool, tel que l'acide lactique, par oxydation, dégagerait une quantité de chaleur croissante avec le nombre d'atomes de carbone du composé oxydé ; soit pour l'acide oxacétique, $C^2H^4O^3$ . . . . . + 40,6,
pour l'acide lactique. . . . . + 44,9,
pour l'acide oxybutyrique . . . . + 52,4.

Donnons encore quelques chiffres, en raison de l'importance de cet ordre de réactions, lesquelles paraissent applicables dans l'économie à l'oxydation graduelle des corps gras. La transformation la plus simple, celle d'un acide monobasique en acide bibasique, renfermant le même nombre d'atomes de carbone, tel que celle de l'acide acétique en acide oxalique

$C^2H^4O^2$ dissous + O^3 = $C^2H^2O^4$ dissous + H^2O,
dégage . . . . . + 146,7,

celle de l'acide butyrique en acide succinique

$C^4H^8O^2$ diss. + O^3 = $C^4H^6O^4$ dissous + H^2O,
dégage . . . . . + 163,0.

D'autre part, une transformation un peu plus

profonde, celle d'un acide en son homologue inférieur par oxydation, telle que

$$C^3H^6O^2 \text{ diss.} + O^3 = C^2H^4O^2 \text{ dissous} + H^2O + CO^2 \text{ dissous},$$

dégage . . . . . + 157,8 ;

$$C^2H^4O^2 \text{ dissous} + O^3 = CH^2O^2 \text{ dissous} + H^2O + CO^2 \text{ dissous},$$

dégage . . . . . + 153,3.

Rappelons que l'on admet l'existence de diverses réactions de cet ordre, dans le cours des oxydations des corps gras effectuées au sein des êtres vivants.

En résumé, une même réaction, opérée sur des corps de même fonction, fournit des valeurs d'ordinaire voisines, lorsqu'elle fixe un même nombre d'atomes d'oxygène. Cependant on observe dans beaucoup de cas de ce genre, une certaine tendance à un dégagement de chaleur de moins en moins considérable, à mesure que l'on opère sur des corps dont la molécule renferme du carbone plus condensé. Les premiers termes des séries, c'est-à-dire ceux qui contiennent 1 ou 2 atomes de carbone, offrent à cet égard les écarts les plus marqués. Les conditions d'isomérie et de constitution différente troublent la généralité des conclusions, parce qu'elles se multiplient sans

cesse, à mesure que le poids moléculaire augmente; la variété de structure chimique des composés résultants complique ces problèmes et s'oppose à toute conclusion trop générale.

4. — Il ne paraît guère douteux que certains effets thermiques, du genre de ceux que nous venons d'exposer, ne doivent se présenter fréquemment dans les phénomènes chimiques de la nutrition et de la respiration. Ils pourront être invoqués, par exemple, pour expliquer la diversité que l'on observe souvent entre les quantités de chaleur et de travail développées par deux êtres vivants, qui absorbent la même quantité d'oxygène et qui produisent la même quantité d'acide carbonique, mais en consommant des aliments différents.

5. — On peut également expliquer par des faits et des considérations de cette nature comment, avec une même consommation d'oxygène et un même système d'aliments, la chaleur produite dans le corps d'un animal peut varier suivant une proportion considérable, parfois du simple au double. Je fournirai des exemples de cet ordre dans les chapitres relatifs à l'oxydation des albuminoïdes et à la glucogénèse et je montrerai en même temps, par d'autres exemples, quelles variations de volume peut éprouver l'acide carbo-

nique dégagé, pour une même quantité de chaleur produite et une même consommation d'oxygène.

6. — Observons encore que des réactions du même ordre sont susceptibles de se développer, non seulement aux dépens des aliments, mais aussi aux dépens des matériaux mêmes qui constituent le corps de l'animal. Suivant la direction que prendront les phénomènes chimiques accomplis dans l'épaisseur des tissus, sous l'influence de divers agents physiologiques, et particulièrement du système nerveux, on pourra donc observer des productions de chaleur, tantôt locales, tantôt générales, et souvent fort inégales; sans que cependant la proportion d'oxygène consommée dans les actes respiratoires éprouve de changement, et parfois même sans variation dans la quantité d'acide carbonique exhalé.

7. — Si maintenant l'on compare la puissance calorifique des divers groupes de composés organiques, en tenant compte seulement de l'oxygène consommé et de l'acide carbonique produit par leur combustion complète, on arrive à une opposition singulière entre les corps gras, à équivalent très élevé, et les corps moins hydrogénés, ainsi que les corps à poids moléculaire faible. Sous le même poids, les corps gras proprement dits

développent plus de chaleur, parce qu'ils consomment plus d'oxygène. Mais, étant observé un même rapport entre l'acide carbonique et l'oxygène, et plus généralement pour une même quantité d'oxygène consommé, l'avantage est tout entier en faveur des corps peu hydrogénés, tels que les sucres, composés à poids moléculaire considérable, et tels également que l'acide formique, l'acide acétique, l'acide oxalique, qui renferment seulement un ou deux atomes de carbone. Ces derniers, à la vérité, ne jouent guère le rôle d'aliments ; mais cette qualité appartient aux sucres.

Les corps gras fournissent, en général, une quantité de chaleur un peu moindre que leurs éléments combustibles, carbone et hydrogène ; tandis que les autres composés dont je parle fournissent une quantité de chaleur plus considérable que celle de leurs éléments : je veux dire si l'on suppose dans ce calcul, comme on le fait d'ordinaire, que l'oxygène et l'hydrogène renfermés dans de tels composés auraient dégagé, avant la formation du composé que l'on se propose d'oxyder, la même quantité de chaleur que si ces éléments étaient unis sous forme d'eau.

Parmi les changements chimiques opérés sur les principes immédiats des êtres vivants,

les plus simples sont les transformations isomériques, les fixations ou éliminations d'eau, les combinaisons et les dédoublements. Passons en revue les effets thermiques correspondants.

IX. THÉORÈME DES TRANSFORMATIONS ISOMÉRIQUES

Lorsqu'un corps se transforme en un corps isomère ou polymère, c'est-à-dire formé des mêmes éléments, unis dans la même proportion, la chaleur dégagée ou absorbée est égale à la différence entre la chaleur de combustion des deux corps envisagés.

1. — Citons quelques exemples, empruntés à la Chimie générale.

La transformation isomérique du cyanate d'ammoniaque, $CHAzO.AzH^3$, en urée, CH^4Az^2O, dégage dans l'état dissous. . . . $+ 8^{Cal},3$.

L'hydrazobenzol, $C^{12}H^{12}Az^2$, changé en benzidine isomérique, dégage . . . . $+ 38,9$.

Ces exemples méritent d'autant plus d'être notés qu'ils appartiennent à la classe des composés azotés.

On pourrait citer également, au moins en principe, le changement du triméthylène, C^3H^6, en propylène isomère. . . . . $(+ 7^{Cal},7)$

celui du dipropargyle, C^6H^6, en benzine isomère . . . . . (+ 69,5)

Ce dernier est accompagné d'une perte de six valences, résultant de la constitution d'un composé cyclique.

Soit maintenant la polymérisation, c'est-à-dire la transformation de plusieurs molécules d'un composé en une seule. Par exemple, le changement de deux molécules d'amylène liquide en une molécule de diamylène liquide

$2C^5H^{10} = C^{10}H^{20}$, dégage . . . + $11^{Cal},8$;

La métamorphose inverse absorberait cette même quantité de chaleur.

Le changement de trois molécules d'acétylène, $3C^2H^2$ gazeux, en une molécule de benzine gazeuse, C^6H^6, dégage. . . + 161 Calories.

Le changement de trois molécules d'acide cyanique dissous en une molécule d'acide cyanurique dissous,

$3CHAzO = C^3H^3Az^3O^3$, dégage . . + 50,6.

Je signale cet ordre de réactions en principe et pour montrer toute l'étendue du problème ; mais sans pouvoir citer d'exemple bien certain dans les réactions connues des êtres vivants : si ce n'est probablement les condensations multiples des aldéhydes et des principes cellulosiques. Ainsi la transformation de l'aldéhyde méthyli-

que en un glucose, transformation que divers auteurs admettent comme origine des hydrates de carbone dans les organismes végétaux, dégagerait

$$6CH^2O \text{ dissous} = C^6H^{12}O^6, \text{ dissous} \ldots + 87^{Cal},6.$$

Les principes protéiques paraissent susceptibles de condensations analogues, mais trop peu étudiées jusqu'ici pour y insister spécialement.

3. — Les réactions inverses, c'est-à-dire les transformations de matière sans changement de poids absolu, mais avec abaissement du poids moléculaire, se rencontrent fréquemment chez les êtres vivants. Je citerai notamment le changement du glucose en acide acétique, $C^2H^4O^2$.

$$C^6H^{12}O^6 \text{ dissous} = 3C^2H^4O^2 \text{ dissous},$$
dégage . . . . . $+ 52^{Cal},4.$

Le changement du glucose, $C^6H^{12}O^6$, en acide lactique, $C^3H^6O^3$, par l'action des ferments ou des alcalis

$$C^6H^{12}O^6 \text{ dissous} = 2C^3H^6O^3 \text{ dissous},$$
dégage . . . . . , $+ 20,0.$

C'est le lieu de rappeler l'apparition de l'acide lactique et la disparition du glucose dans des

muscles en travail ; cette métamorphose étant susceptible d'être accomplie indépendamment de toute oxydation, tandis qu'elle développe une dose notable de chaleur.

Le dégagement de chaleur, observé dans ces conditions,est d'autant plus digne d'intérêt qu'il répond, je le répète, à un abaissement du poids moléculaire, phénomène équivalent à une décomposition.D'après les analogies, il semble qu'il devrait dès lors absorber de la chaleur. Mais cette absorption se trouve compensée et au delà, dans le cas actuel, parce que la réaction est accomplie avec changement dans la fonction chimique : un sucre, c'est-à-dire un alcool-aldéhyde, étant transformé en acide.

La transformation des albuminoïdes insolubles, ou coagulables, en composés peptoniques et autres, solubles et non coagulables, paraît répondre dans certains cas au moins, à des phénomènes de l'ordre de ceux que je viens de citer. Mais cette transformation se complique d'ordinaire d'hydratations et de dédoublements : tous effets imparfaitement étudiés, qu'il importe de signaler ici, au moins en principe.

THÉORÈME X. HYDRATATIONS

Lorsque l'eau se fixe sur un principe immédiat, la chaleur dégagée ou absorbée est égale à la différence entre la chaleur de formation de ce principe par les éléments et celle des composés résultants, diminuée de la chaleur de formation de l'eau.

1. — Par exemple, l'anhydride acétique, $C^4H^6O^3$, en se changeant par fixation d'eau, H^2O, hydraté, en acide, $2C^2H^4O^2$, dégage . $+ 7^{Cal},0$

Le lactone lévulique, anhydride plus complexe, $C^5H^6O^2$, en devenant acide lévulique, $C^5H^8O^3$, par fixation d'eau, H^2O, cette fois sans changement dans la condensation du carbone, dégage bien davantage, soit . . $+ 19^{Cal},9$.

Or divers principes naturels dans les végétaux appartiennent précisément à cette fonction de lactone. Au contraire, on observe dans certains cas des déshydratations accompagnés de dégagement de chaleur : j'en citerai plus loin des exemples.

2. — Signalons maintenant les hydratations avec dédoublements, que l'on désigne aujourd'hui sous le nom d'*hydrolyses*.

Les éthers acétique, oxalique, méthyloxalique, dissous dans l'eau, peuvent fixer les élé-

ments de l'eau, pour se changer en acides et alcools correspondants ; ce qui dégage en moyenne, par molécule H^2O d'eau fixée, 2 Calories. Il est de même d'un grand nombre d'autres éthers, peut-être aussi des corps gras naturels. Mais la chaleur de formation de ces dernières et celles des acides générateurs ne sont pas assez bien connues pour décider la question.

Divers glucosides condensés, tels que l'amidon, l'inuline, la cellulose, dégagent également de la chaleur, en fixant les éléments de l'eau pour régénérer des glucoses.

3. — De même, les amides dégagent de la chaleur, en fixant les éléments de l'eau pour se changer en sels ammoniacaux.

Ce dégagement de chaleur par hydratation est incomparablement plus marqué pour les imides et pour les nitriles ; c'est-à-dire pour les composés formés avec élimination de plusieurs molécules d'eau, par molécule d'ammoniaque entrée en combinaison.

D'après les données des expériences que j'ai faites sur ce point, la régénération du sel ammoniacal d'un acide monobasique par son nitrile dégage en moyenne . + 15 Calories.

La régénération du sel biammoniacal d'un acide bibasique, tel que les acides malonique

et succinique, par le nitrile correspondant, dégage environ . . . . . + 40 Calories.

Il y a plus : les deux premiers termes de ces deux séries d'acides, c'est-à-dire les nitriles formique et oxalique, pris à l'état pur, dégagent, comme il arrive souvent, encore davantage que les termes suivants : soit + 21 Calories, pour le nitrite formique, et + 59 Calories pour le nitrite oxalique.

Ces notions sont également applicables aux alcalamides, formés par l'union d'un acide et d'un alcali complexe, avec élimination d'eau. Tel est un acide tiré de l'urine des herbivores, l'acide hippurique, formé par la combinaison de l'acide benzoïque avec la glycollamine.

$$C^7H^6O^2 + C^2H^5AzO^2 = C^9H^9AzO^3 + H^2O$$

absorbe . . . . . — $7^{Cal},3$.

Dès lors la fixation d'une molécule d'eau, et par conséquent la régénération de l'acide et de l'alcali, dégage. . . . . + 7,3.

Ces réactions méritent d'autant plus d'être signalées qu'elles sont les types de celles qui s'exercent, lorsque les acides de la série aromatique sont introduits dans l'économie humaine, En effet, l'observation prouve que de tels acides sont ensuite éliminés dans l'urine, sous la forme

d'acides dérivés de la glycollamine et congénères de l'acide hippurique.

Remarquons ici que les principes albuminoïdes ont une constitution analogue à celle des nitriles, plutôt qu'à celle des amides : ce qui donne aux relations précédentes quelqu'importance dans l'étude de la chaleur animale.

Observons en enfin que les phénomènes d'hydratation et de déshydratation sont susceptibles surtout d'intervenir dans les cycles intermédiaires, compris au cours de la période totale d'entretien. Cependant, comme ces phénomènes ne modifient ni la composition élémentaire, ni la dose d'oxygène absorbé, leur existence pourrait modifier l'état final apparent, c'est-à-dire la composition élémentaire des organes, tissus et humeurs animales, sans qu'on s'en aperçut, à moins d'une analyse extrêmement délicate.

THÉORÈME XI. DÉSHYDRATATIONS

Lorsque l'eau s'élimine aux dépens d'un système de deux principes organiques, ou même d'un principe unique, la chaleur absorbée ou dégagée est la différence entre la chaleur de formation du système initial par les éléments

et celle du système final, accrue de la chaleur de formation de l'eau.

1. — Ce théorème est le réciproque du précédent. Ainsi la formation des éthers, dans l'état dissous à partir des acides et des alcools dissous, absorbe de la chaleur ; de même, la formation des amides et des nitriles, à partir des sels ammoniacaux.

Citons encore la formation des anhydrides et des lactones, à partir des acides. La formation du glucose, à partir des éléments, dégage un peu moins de chaleur que celle d'un poids équivalent de cellulose, qui en diffère par les éléments de l'eau : d'où il suit que la transformation de la cellulose en glucose, par hydratation, dégage de la chaleur, environ . . . . . $+ 3^{Cal},2$ pour $C^6H^{12}O^6 = 180$ grammes.

Cependant il n'en est pas nécessairement ainsi. Certains anhydrides, en effet, sont formés avec dégagement de chaleur, à partir des acides correspondant. Tel est le protoxyde d'azote, à partir de l'acide hypoazoteux :

$$2AzOH \text{ dissous} = Az^2O \text{ dissous} + H^2O$$
$$\text{dégage} + 54^{Cal},6$$

Aussi l'hydratation du protoxyde d'azote ne régénère pas l'acide hypoazoteux.

De même, les composés nitrés, en tant que dérivés de l'acide azotique :

$$C^6H^6 + \text{liq.} + AzO^3H \text{ pur} = C^6H^5AzO^2 + \text{liq.} + H^2O, \text{ dégage} + 36,0.$$

Rappelons que le protoxyde d'azote, en tant que nitrile dérivé de l'azotate d'ammoniaque :

$$AzO^3H.AzH^3 = Az^2O + 2H^2O, \text{ dégage :}$$

tous corps supposés dissous. . . $+ 41^{Cal},2$.

La déshydratation peut donc, dans certains cas, être accompagnée par un dégagement de chaleur.

Parmi les corps ainsi formés par déshydratation, il en est, tels que les éthers, que l'eau décompose partiellement en sens inverse ; en donnant lieu à des équilibres mobiles, comparables à des dissociations; cas où une réaction exothermique, due aux énergies chimiques intérieures du système, coexiste avec une réaction endothermique, qui consomme des énergies extérieures, empruntées au milieu ambiant. Les équilibres de cet ordre présentent dans l'économie d'un être vivant un intérêt tout particulier, d'abord parce qu'ils sont susceptibles de servir de pivots aux formations et décompositions de certains corps naturels, notamment les amides, tels que l'acide hippurique et les uréides, dérivés de l'union d'un alcool-alcali

avec un acide. Ces équilibres peuvent également devenir l'une des voies par lesquelles les énergies purement calorifiques du milieu ambiant s'introduisent dans les organismes vivants.

2. — L'ensemble de ces observations est d'autant plus intéressant que les phénomènes d'hydratation et de déshydratation avaient été négligés autrefois, dans les considérations relatives à la chaleur animale; celle-ci étant attribuée exclusivement aux phénomènes d'oxydation. Or, les théorèmes et les faits précédents permettent d'établir que l'ancienne opinion est inexacte et qu'une quantité notable de chaleur peut prendre naissance dans un être vivant, aux dépens de ses aliments et par hydratation ou déshydratation, indépendamment de toute espèce d'oxydation. Le phénomène peut se produire, sans qu'il y ait ni oxygène absorbé, ni acide carbonique formé.

Une thermogenèse notable peut également avoir lieu dans les êtres organisés, par l'effet des combinaisons, ou des dédoublements, ainsi qu'il va être dit.

THÉORÈME XII. COMBINAISONS

Lorsqu'un principe organique se forme par la combinaison de deux autres substances, la

chaleur dégagée (ou absorbée) est égale à la somme des chaleurs de formation des corps générateurs, diminuée de la chaleur de formation de leur composé.

Ainsi, par exemple, on calcule que l'union de l'amylène liquide avec l'eau, pour former l'hydrate d'amylène liquide

$$C^5H^{10} + H^2O = C^5H^{12}O$$

dégage . . . . . $+ 10^{Cal},1$.

L'union de l'éthylène gazeux

$$C^2H^4 + H^2O = C^2H^6O$$

avec l'eau liquide, pour former l'alcool ordinaire liquide, dégage . . . . . $+ 15^{Cal},5$;

Ce dernier chiffre comprend la chaleur d'hydratation, accrue de la chaleur répondant au changement d'état de l'éthylène gazeux.

L'union de l'éthylène, C^2H^4, et du gaz chlorhydrique, HCl, pour former l'éther chlorhydrique gazeux, C^2H^5Cl, dégage . . $+ 31^{Cal}$.

Dans la même catégorie de réactions, on peut ranger la polymérisation, dont il a été question au cours de l'un des paragraphes précédents.

THÉORÈME XIII. DÉDOUBLEMENTS

En général, lorsqu'un principe organique se dédouble en deux autres substances (ou un plus

grand nombre), *la chaleur dégagée ou absorbée est égale à la différence entre la chaleur de formation des produits et celle du principe initial.*

1.— Les exemples que l'on pourrait citer dans les organismes vivants sont innombrables. Ici notamment viennent se ranger :

1° Les phénomènes d'hydratation, signalés plus haut ;

2° Les décompositions par oxydation partielle, également signalées, etc.

3° Les décompositions avec séparation d'acide carbonique, sans oxydation, telles que celles des acides bibasiques, $C^nH^{2n-2}O^4$, en acides monobasiques, $C^{n-1}H^{2n-2}O^2 + CO^2$.

Ce changement a ceci de remarquable, qu'il s'y produit de l'acide carbonique sans absorption d'oxygène. Le quotient respiratoire, $\frac{CO^2}{O}$, y présente donc une valeur infinie; circonstance qui caractérise aussi la fermentation alcoolique.

2. — Rappelons les fermentations, dont il est utile de signaler quelques exemples fondamentaux.

(1) *Transformations d'une molécule condensée* en plusieurs molécules monomères :

1° Fermentation lactique.

$C^6H^{12}O^6$ dissous $= 2C^3H^6O^3$ dissous ... $+ 20{,}0$

2° Fermentation acétique spéciale

$C^6H^{12}O^6$ dissous $= 3C^2H^4O^2$ dissous ... $+ 52,8$.

(2) *Dédoublements* :

1° Transformation purement chimique du glucose en acides lévulique et formique

$C^6H^{12}O^6$ dissous $=$

$C^5H^8O^3$ dissous $+ CH^2O^2$ dissous $+ H^2O$

dégage . . . . . $+ 36^{Cal},7$.

2° Fermentation alcoolique.

$C^6H^{12}O^6$ dissous $=$

$2C^2H^6O$ dissous $+ 2CO^2$ dissous.

dégage . . . . . $+ 44^{Cal},2$.

Cette condition est analogue à celle qui est réalisée aux débuts de la fabrication du vin.

Plus tard, l'acide carbonique prend l'état gazeux, on a alors

$2C^2H^6O$ dissous $+ 2CO^2$ gaz, dégage. $+ 33$ Cal.

3° Fermentation butyrique

$C^6H^{12}O^6$ dissous $=$

$C^4H^8O^2$ dissous $+ 2CO^2$ dissous $+ 2H^2$ gaz,

dégage . . . . . $+ 28,8$.

4° Fermentation forménique

$C^6H^{12}O^6$ dissous $= 3C^2H^4$ gaz $+ 3CO^2$ gaz,

dégage . . . . . $+ 49,2$.

Depuis les celluloses, on aurait

$$n\mathrm{C^6H^{10}O^5} + n\mathrm{H^2O} = 3n\mathrm{CO^2} + 3n\mathrm{CH^4}$$

dégage . . . . . $+ 41$ Cal. $\times n$.

Dans les fermentations précédentes, aussi bien que dans le dédoublement d'un acide bibasique signalé plus haut, l'acide carbonique se forme indépendamment de toute oxydation, et le quotient $\frac{CO^2}{O}$ a une valeur infinie.

On a dit, au contraire, comment dans les oxydations accomplies plus haut, sans qu'il y ait formation d'acide carbonique, ce même quotient présente une valeur nulle. Cependant les diverses réactions qui répondent à ces deux circonstances opposées peuvent dégager des quantités de chaleur parfois considérables.

En admettant la coexistence d'une réaction de la première espèce avec une réaction de la seconde, les deux étant liées, ou indépendantes, il est évident que le quotient respiratoire peut affectuer une valeur quelconque, comprise entre zéro et l'infini. La chaleur dégagée peut également varier indéfiniment. D'où il résulte qu'il n'est permis de tirer en physiologie aucune conclusion légitime, fondée sur la seule détermination du quotient respiratoire, soit qu'elle porte sur la nature effective de la réaction chimique accom-

plie dans l'économie, soit sur la quantité de chaleur développée. C'est là une conséquence parfois méconnue : tant en physiologie végétale, par exemple, lorsqu'on a étudié la formation des acides organiques; qu'en physiologie animale; par exemple, dans l'étude des transformations chimiques qui accompagnent la contraction musculaire.

Dans aucun cas, on ne saurait se dispenser de l'analyse complète, qualitative et surtout quantitative, des composés qui disparaissent et des composés qui prennent naissance, au cours des actes biologiques fondamentaux des plantes et des animaux.

3. — On voit que toutes les transformations qui viennent d'être définies et où n'intervient aucune oxydation, dégagent de la chaleur : circonstance ignorée pendant longtemps, à l'exception du cas empirique de la fermentation alcoolique. J'ai signalé, en 1865, toute l'importance théorique du dernier cas, au point de vue de la mécanique chimique, en établissant par là que les fermentations n'exigent point le concours d'une énergie extérieure. Ainsi le ferment joue simplement le rôle d'un agent déterminant, sans apporter une énergie propre appréciable, dans cet ordre de phénomènes; sauf peut-être par

quelque réaction accessoire, c'est-à-dire à la façon de l'allumette qui détermine un incendie.

On voit par ces faits et par ces chiffres combien est intéressant, je le répète, dans l'économie des êtres vivants le rôle calorifique des phénomènes d'hydratation, de déshydratation et de dédoublement.

Ces considérations sont d'autant plus essentielles, au point de vue de la chaleur animale, que la plupart des matières alimentaires sont susceptibles de donner lieu à des phénomènes de cette espèce dans l'économie. On sait, en effet, que les substances alimentaires se rapportent à trois catégories générales :

1° Les substances grasses ;

2° Les hydrates de carbone ;

3° Les principes albuminoïdes.

Or, les principes albuminoïdes peuvent être regardés comme analogues aux amides, ou plutôt aux nitriles. En tant que tels, ils sont capables de donner lieu à des phénomènes calorifiques tranchés, lors de leur hydratation avec dédoublements, ou lors de leur déshydratation avec condensations polymériques, et réunion de plusieurs molécules carbonées.

Les hydrates de carbone, sucres et analogues, etc., peuvent aussi dégager de la chaleur

par leurs seuls dédoublements, condensations et décondensations, toujours indépendamment de toute oxydation.

J'ai cru utile d'exposer avec quelques développement ces faits, ces calculs thermochimiques, et ces rapprochements physiologiques, afin de montrer comment le problème de la chaleur animale doit être entendu aujourd'hui et généralisé. Ils fournissent des indications nouvelles, dont le physiologiste et le médecin auront désormais à tenir compte. L'idée fondamentale énoncée à l'origine par Lavoisier subsiste; mais, comme il arrive toujours dans les sciences, le problème s'est compliqué en se précisant, c'est-à-dire à mesure que l'on a pénétré davantage dans les conditions véritables et dans le mécanisme du phénomène naturel.

Les chapitres suivants seront consacrés à présenter certaines données chimiques expérimentales, d'un ordre général, qui interviennent dans l'étude des phénomènes de la calorification biologique.

CHAPITRE II

—

CHALEUR DÉGAGÉE PAR L'ACTION DE L'OXYGÈNE LIBRE SUR LE SANG

Lorsque Lavoisier eut reconnu que la chaleur animale est due principalement à un phénomène de combustion, il se posa aussitôt la question de savoir si cette combustion a lieu dans le poumon lui-même, au lieu précis où l'oxygène est absorbé et l'acide carbonique dégagé ; ou bien si elle se produit seulement dans l'ensemble de l'économie, l'absorption de l'oxygène ayant lieu en vertu d'une première réaction aux dépens du sang. L'opinion de Lavoisier varia, à cet égard, plusieurs fois. Après avoir mis en avant, en 1777, l'alternative précédente, il crut ensuite, dans son travail avec Laplace sur la chaleur animale, publié en 1783, pouvoir affirmer que la combustion avait lieu dans le poumon même. Mais quelques an-

nées après, lors des recherches sur la respiration exécutées avec Séguin, il retomba dans les doutes primitifs. Depuis, la question a été tranchée par la découverte de l'action propre des globules du sang sur l'oxygène, et de l'aptitude de l'hémoglobine à former avec ce gaz dans le poumon un composé défini peu stable, qui transporte ensuite l'oxygène au sein des tissus, et le cède aisément aux diverses substances oxydables de l'économie. Les travaux de Cl. Bernard sur un composé analogue, formé par l'union de l'oxyde de carbone et de l'hémoglobine, ont assigné au rôle chimique des globules un caractère encore plus précis.

Mais la question fondamentale de la localisation et du partage de la production de la chaleur, entre le poumon et les autres tissus, est restée indécise, faute de données expérimentales. Ce sont précisément ces données que j'ai essayé de déterminer par des expériences. J'ai mesuré, en effet, la chaleur dégagée lorsque l'oxygène se fixe dans le sang et avant qu'il ait eu le temps de produire de l'acide carbonique.

L'expérience est fort délicate, à cause de la petitesse du poids d'oxygène fixé et des quantités de chaleur produites, de l'élimination de l'acide carbonique, enfin de la difficulté de mesurer

exactement les uns et les autres, dans des conditions simultanées. Voici comment j'opère :

1° *Nature du sang.* — Le sang employé était du sang de mouton défibriné, recueilli à l'abattoir, dans un grand flacon de 4 litres, bouché à l'émeri, qui en a été complètement rempli et clos aussitôt. On l'a laissé vingt-quatre heures, à la température de la chambre (8 à 9°), afin de lui permettre de se mettre en équilibre : condition indispensable pour la précision des mesures. Ce sang était rutilant, au moment où il a été recueilli ; il a pris dans les vingt-quatre heures la teinte brune du sang veineux, en se dépouillant d'oxygène libre, sans éprouver d'autre altération sensible.

2° *Densité et chaleur spécifique du sang.* — La densité de l'échantillon de sang employé dans mes expériences était de 1,057 à 9°. J'en ai déterminé la chaleur spécifique ; ce qui n'a pas eu lieu sans peine, à cause du peu de mobilité du liquide et de la difficulté d'y rendre la température uniforme : j'ai trouvé 0,872.

Voici le détail de cette détermination, faite par la méthode que j'ai coutume d'employer et qui donne pour les liquides des résultats fort exacts, entre des limites quelconques de température et de concentration (*Essai de Mécanique chimique*,

t. I, p. 276). Je crois utile de rappeler la marche de cette détermination.

J'ai opéré d'abord sur l'eau, comme contrôle.

I. — On a pris un flacon de platine, muni de son bouchon et de son thermomètre; on l'a rempli d'eau (50 grammes) et on l'a pesé exactement.

Cela fait, on a élevé la température du flacon vers 50°, en agitant continuellement; on l'a transporté au-dessus d'un calorimètre, renfermant 400 centimètres cubes d'eau. On a noté aussitôt et très exactement la température du thermomètre intérieur au flacon, soit 44°,60 (température corrigée); et on l'a immergé à l'instant même dans l'eau du calorimètre, dont la température initiale était de 8°,71. La marche du thermomètre calorimétrique avait été suivie auparavant, de minute en minute, pendant cinq minutes.

On a suivi alors la marche des deux thermomètres, en agitant continuellement le flacon de platine. Au bout de six minutes, le thermomètre du flacon marquait 12°,85 et le thermomètre du calorimètre 12°,70. On enlève, à l'instant précis de la lecture du thermomètre intérieur au flacon, le flacon de platine et l'on continue à suivre la marche du thermomètre calorimétrique, pendant cinq minutes.

On déduit des données observées la chaleur spécifique moyenne de l'eau entre 46°,60 et 12°70: soit 1,0031, estimée en prenant comme unité la chaleur spécifique de l'eau vers 10°. Ce chiffre permet de juger le degré de précision de la méthode.

II. — On a opéré de même avec le sang. Le flacon de platine contenait $52^{gr},85$ de ce liquide; il n'en était pas entièrement rempli. On a dû agiter vivement et continuellement, tant pendant l'échauffement préalable que dans l'intérieur du calorimètre, afin d'assurer une égale répartition de la température. On a fait deux expériences, l'une entre 46°,2 et 13°, l'autre entre 44°,7 et 13°,5. Les résultats concordent à un centième près; précision que le peu de mobilité du fluide n'a pas permis de dépasser. On en a déduit, pour la chaleur spécifique du sang employé, pendant cet intervalle, la valeur : 0,872.

La chaleur spécifique du sang varie suivant sa composition. D'après un certain nombre d'essais, j'ai trouvé que, pour un sang qui renferme p millièmes d'eau et p' millièmes de matières fixes ($p + p' = 1000$), on peut admettre, comme première approximation de sa chaleur spécifique, la valeur : $p + 0{,}4\,p'$.

3° *Remplissage de la fiole calorimétrique.* — Je prends une fiole calorimétrique (1) (*fig.* 1).

Je la remplis d'abord d'azote pur, par déplacement. L'azote pur est préparé à l'avance, dans un grand gazomètre.

Cela fait, on pèse la fiole.

Puis on y fait passer 700^{gr} environ de sang, exempt d'oxygène, tiré du grand flacon de 4 litres indiqué plus haut. A cet effet, on remplace rapidement le bouchon de ce flacon par un autre bouchon garni de deux tubulures, munies chacune d'un tube. L'un de ces tubes plonge vers le centre du flacon; l'autre affleure seulement la partie inférieure du bouchon. On refoule le sang dans la fiole, à l'aide d'une pression

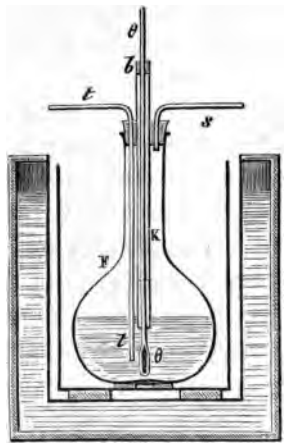


Fig. 1. — Fiole calorimétrique. θ, Thermomètre calorimétrique; *b*, petit bouchon; *t*, tube par lequel arrive le gaz; *s*, tube de sortie; F, fiole; K, large tube par lequel pénètre le thermomètre. — Le sang doit remplir les trois quarts ou les quatre cinquièmes de la fiole.

(1) *Essai de Mécanique chimique*, t. I, p. 230.

d'azote, tiré du gazomètre et agissant par le moyen du tube le plus court.

Le sang remonte dans le tube profond; l'orifice extérieur de ce dernier est ajusté, à l'aide d'un tube de caoutchouc, avec un tube de verre libre, que l'on fait arriver vers le centre de la fiole calorimétrique.

Celle-ci peut être ainsi remplie, sans que le sang vienne en contact avec l'air, la fiole étant garnie à l'avance avec de l'azote. Quand elle est pleine de sang, aux cinq sixièmes au moins, on arrête le refoulement du sang et l'on enlève le tube qui l'amène; en évitant avec soin qu'aucune goutte de sang tombe sur la fiole, ou même sur les parois intérieures de son col.

On fait ensuite circuler de nouveau de l'azote pur dans le col de la fiole, de façon à n'y pas laisser pénétrer d'air; puis on ajuste le bouchon de celle-ci, muni de son thermomètre calorimétrique et de ses deux tubulures; ces dernières étant obturées extérieurement par de très petits cônes de liège.

4° *Première pesée.* — On pèse le tout, sur une balance sensible au milligramme.

Les poids apparents de sang employés ont été, dans deux expériences, les suivants : $655^{gr},340$ et $692^{gr},100$.

Ces poids doivent être corrigés d'un gramme environ, en raison de la perte de poids du liquide dans l'air : mais cette correction, facile à faire d'ailleurs, peut être négligée, eu égard à l'ordre de grandeur des limites d'erreur des expériences.

Elle n'affecte point d'ailleurs l'évaluation du poids des gaz absorbés ou perdus, laquelle est la donnée fondamentale.

5° *Saturation du sang avec de l'azote.* — La fiole remplie et pesée, on fait passer, à travers le sang qu'elle renferme, un courant d'azote pur, *saturé d'humidité*, pendant quinze minutes, à raison d'un demi-litre à un litre environ d'azote. On agite continuellement la fiole et on lit pendant ce temps, de minute en minute, le thermomètre calorimétrique immergé dans le sang.

Quant à l'azote, au sortir de la fiole, il traverse un premier tube à ponce sulfurique, où il abandonne la vapeur d'eau dont il est saturé, et un second tube à chaux sodée, où il abandonne l'acide carbonique emprunté au sang. Ces deux tubes eux-mêmes ont été, au préalable et avant leur première pesée, remplis d'azote sec. Leur accroissement de poids donne le poids de l'eau et de l'acide carbonique entraînés. La pesée de ces diverses quantités, jointe aux mesures thermométriques, fournit les données nécessaires aux

corrections de l'expérience qui va être faite avec l'oxygène. L'azote doit être saturé d'humidité à l'avance, afin qu'il ne puisse pas enlever de vapeur d'eau au sang.

6° *Secondes pesées.* — Après un quart d'heure, on arrête le courant d'azote. On bouche les tubulures et l'on pèse de nouveau, au milligramme, la fiole calorimétrique (avec son thermomètre). Le poids de celle-ci a diminué d'une certaine quantité, laquelle doit représenter l'acide carbonique entraîné par l'azote : la vapeur d'eau emmenée par ce gaz étant précisément égale à celle qu'il a apportée, puisqu'il en était saturé à l'avance et que la température est exactement la même (à quelques centièmes de degré près).

7° *Contrôle.* — On tire de là un *premier contrôle*, le poids perdu par la fiole devant être précisément le même que le gain du tube à chaux sodée : ce que j'ai observé, en effet, dans toutes les expériences.

En effet, j'ai trouvé, dans les essais qui vont suivre :

I.	Perte de poids de la fiole	$0^{gr},020$
	Poids de l'ac. carbonique entraîné .	0, 021
II.	Perte de poids de la fiole	0, 023
	Poids de CO^2 entraîné	0, 0225
III.	Perte de poids de la fiole	0, 011
	Poids de CO^2 entraîné	0, 010

Ceci montre que le sang n'a point fixé, ni perdu d'azote, pendant le cours des mesures.

Second contrôle. — Le rapport entre le poids perdu par la fiole et le poids de la vapeur d'eau entraînée simultanément dans un gaz inerte, tel que l'azote (et recueillie dans le tube à ponce sulfurique), permet de contrôler si, dans l'essai qui va suivre, l'oxygène donne lieu à un excès d'acide carbonique, produit par une réaction propre du sang, pendant la durée et à la température même des expériences.

Par exemple, j'ai trouvé, vers 9°,5 :

I. *Première expérience.* — Dans un courant d'azote initial :

Acide carbonique entraîné (tube à chaux sodée)	$0^{gr},021$
Vapeur d'eau entraînée simultanément (tube à ponce sulfurique)	0, 0084

Dans un courant d'oxygène dirigé aussitôt après, j'ai trouvé :

Acide carbonique entraîné	$0^{gr},0385$
Vapeur d'eau entraînée simultanément.	0, 0162

On déduit de l'essai fait avec l'azote que, d'après le poids d'acide carbonique obtenu en présence de l'oxygène, le poids de la vapeur d'eau correspondante aurait dû être $0^{gr},0154$: ce qui concorde.

La vapeur d'eau entraînée étant proportionnelle au volume du gaz qui l'a traversée lentement, dans des conditions similaires, tant avec l'oxygène qu'avec l'azote, et le poids de l'acide carbonique ayant été trouvé par expérience proportionnel à celui de la vapeur d'eau dans les deux cas; il en résulte que l'oxygène dégagé au dehors (1) a déplacé l'acide carbonique du sang, dans les conditions et *à la température* (9 à 10°) de l'expérience, précisément comme l'avait fait l'azote, gaz inerte, c'est-à-dire proportionnellement à son propre volume.

II. — Dans une *seconde expérience*, on a obtenu de même, dans un courant d'azote initial :

Acide carbonique entraîné	$0^{gr},0225$
Vapeur d'eau entraînée simultanément.	0, 0080

Dans un courant d'oxygène, dirigé immédiatement après :

Acide carbonique entraîné	$0^{gr},0456$
Vapeur d'eau entraînée simultanément.	0, 0162

nombres proportionnels aux premiers.

III. — Dans une *troisième expérience*, on a

(1) La portion d'oxygène qui a été absorbée par le sang ne concourt pas à l'entraînement de la vapeur d'eau.

obtenu, à 10°,4, dans un courant d'azote initial :

Acide carbonique entraîné	0gr,0101
Vapeur d'eau entraînée simultanément.	0, 0057

Dans un courant d'oxyde de carbone, dirigé immédiatement après :

Acide carbonique entraîné	0gr,0132
Vapeur d'eau entraînée simultanément.	0, 0159

Les rapports de la vapeur d'eau à l'acide carbonique entraîné sont, comme précédemment, les mêmes très sensiblement avec les deux gaz, azote et oxyde de carbone.

Ainsi l'oxygène n'exerce pas, *dans la courte durée et à la température de ces expériences*, d'action chimique sensible ultérieure à son absorption : je dis d'action capable de produire de l'acide carbonique en dose appréciable, dans ces conditions. Ce point étant essentiel, j'ai cru utile de m'étendre sur sa démonstration.

Revenons maintenant à l'expérience principale.

8° *Action de l'oxygène sur le sang.* — On replace la fiole dans le calorimètre et l'on suit pendant quelques minutes la marche du thermomètre, lequel n'a pour ainsi dire pas varié pendant la pesée. On fait alors arriver dans la fiole, à travers le sang, bulle à bulle, un courant

d'oxygène *sec*, pendant quinze minutes, à raison d'un litre environ, et l'on dirige ensuite le gaz à travers les tubes à ponce sulfurique et à chaux sodée, qui absorbent la vapeur d'eau et l'acide carbonique déplacés. Le thermomètre est lu de minute en minute, et l'on en prolonge la lecture pendant quelques minutes, après que le courant gazeux a cessé. On emploie de l'oxygène sec, afin de ne pas avoir à tenir compte de la vapeur d'eau qu'il pourrait apporter.

Pendant cette opération, accompagnée d'une agitation continuelle, le sang devient rutilant et reprend toutes les apparences du sang artériel.

9° *Pesées finales.* — Quand elle est accomplie, on détache les tubes à ponce sulfurique et à chaux sodée, on y remplace l'oxygène par de l'azote sec, et on les pèse : ce qui fournit les poids de l'eau et de l'acide carbonique entraînés.

D'autre part, on soulève légèrement le bouchon de la fiole calorimétrique et l'on fait passer rapidement dans son col, au-dessus du liquide et sans toucher ce dernier, de l'azote humide ; de façon à remplacer au moyen de ce gaz, par déplacement, les 50 centimètres cubes à 100 centimètres cubes d'oxygène contenus dans le col. L'opération n'exige que peu d'instants. On rebouche aussitôt la fiole calorimétrique et on la pèse au

milligramme. L'accroissement de poids de la fiole, plus celui des tubes à ponce sulfurique et à chaux sodée, donnent le poids de l'oxygène fixé sur le sang. Rappelons que, dans toutes mes expériences, le rapport entre le poids de la vapeur d'eau et celui de l'acide carbonique a été trouvé tel qu'il répond à un simple déplacement de ce gaz, par l'excès d'oxygène, pareil à celui que produit l'azote, et sans qu'il intervienne dans la formation de l'acide carbonique aucune oxydation spéciale sensible, à la température et pour la durée de l'expérience.

10° *Chaleur dégagée dans l'action de l'oxygène sur le sang.* — Il ne reste plus qu'à faire le calcul de la chaleur dégagée, à l'aide des données précédentes et suivant nos règles ordinaires. A cette chaleur, il convient de joindre une certaine correction, due à la chaleur de vaporisation de l'eau entraînée et à celle de l'acide carbonique précédemment dissous dans le liquide ; quantités évaluables d'après les données déjà connues. Cette correction ne s'élevait pas, dans les expériences actuelles, à plus du septième de la valeur totale, ainsi qu'il va être montré plus loin.

Voici le détail des déterminations.

I. — Sang : 620 centimètres cubes ; c'est-à-dire très exactement : 655^{gr},340.

Le poids total du système (le col de la fiole étant rempli d'azote et garni de ses tubes, bouchons, thermomètres), est taré d'abord avec le concours d'une fiole pareille, mais vide, et en opérant sur une balance capable d'apprécier un kilogramme à un demi-milligramme. Puis on introduit le sang et l'on pèse de nouveau.

II. — La valeur en eau du système a été trouvée la suivante :

Sang	571,5	réduit en eau
Fiole	21,0	Id.
Parties des tubes plongées dans la fiole, et participant à son échauffement (1)	4,1	Id.
Thermomètre	1,6	Id.
	598,2	

III. — On se propose de faire passer dans la fiole et à travers le sang un courant régulier d'azote pur, saturé de vapeur d'eau. Les gaz seront dirigés, en sortant de la fiole, à travers un premier tube en U, contenant de la ponce imbibée d'acide sulfurique et destinée à absorber la vapeur d'eau.

(1) Cette portion est évaluée d'après la pesée de la totalité de chaque tube et la mesure de la longueur entière de celui-ci, comparée à la longueur qui pénètre dans la fiole. Le bouchon n'est pas compté.

Puis vient un second tube en U, contenant de la chaux sodée en petits grains, laquelle est destinée à absorber l'acide carbonique. Ces deux tubes ont été remplis d'azote sec et pesés séparément dans cet état, sur une autre balance sensible au $\frac{1}{10}$ de milligramme.

IV. — Le thermomètre étant en équilibre de température avec le liquide, on en a suivi la marche au préalable, avant le passage de l'azote.

o	minute	9°,255
1re	//	9, 260
2e	//	9, 265
3e	//	9, 270

V. — On fait alors passer l'azote à travers le sang, bulle à bulle, en agitant continuellement la fiole, d'un mouvement rotatoire dirigé suivant un plan presque horizontal. En vue de cette agitation, le col de la fiole est saisi sur une portion de sa longueur avec deux plaques de liège, creusées en demi-cylindre et serrées au moyen d'une pince à écrou, à long manche horizontal.

Ce dernier manche repose librement sur l'enveloppe de feutre (1) de mon enceinte calorimé-

(1) *Traité pratique de Calorimétrie chimique*, p. 56.

trique ; il est tenu et remué à la main, qui se trouve complètement en dehors de cette enceinte et sur le côté ; de façon que le rayonnement de la main ne puisse exercer aucune influence sur la fiole.

VI. — Les températures qui suivent ont été prises dans ces conditions, pendant le passage de l'azote. Leur marche répond à des effets complexes, à savoir : l'échauffement de la fiole par les rayonnements ambiants, tel qu'il est défini empiriquement par les mesures ci-dessus ; l'entraînement de l'acide carbonique, déplacé par l'azote, et la dissolution de ce dernier gaz : entraînement et dissolution minimes d'ailleurs. Quant à la vaporisation de l'eau, elle ne joue aucun rôle appréciable, l'azote en étant saturé à l'entrée comme à la sortie, la température étant sensiblement constante, et le volume même de l'acide carbonique déplacé étant, comme on va le voir, trop minime pour qu'il ait pu entraîner une dose pondérable de vapeur d'eau.

VII. — Quoi qu'il en soit, voici les résultats observés pendant le passage de l'azote : résultats intéressants parce qu'ils vont servir de base aux corrections consécutives, lesquelles s'appliquent à des conditions toutes pareilles :

Températures observées :

5e	minute	9°,280
6e	//	9, 285
7e	//	9, 290
8e	//	9, 296
9e	//	9, 300
10e	//	9, 306
11e	//	9, 312
12e	//	9, 317
14e	//	9, 330
16e	//	9, 340
20e	//	9, 360

VIII. — On arrête alors le courant d'azote et l'on pèse sur les balances : la fiole, d'une part, à un demi-milligramme près, et, d'autre part, les 2 tubes à ponce sulfurique et à chaux sodée, séparément, à $\frac{1}{10}$ de milligramme. On a trouvé ainsi :

Perte de poids de la fiole.	0gr,020
Gain du tube à ponce sulfurique . . .	0, 0084
Gain du tube à chaux sodée.	0, 0210

On voit que la perte de poids de la fiole est sensiblement représentée par le poids de l'acide carbonique recueilli ; c'est-à-dire que l'azote n'a pas entraîné d'autre produit volatil. Le poids de la vapeur d'eau entraînée permet d'évaluer le volume de l'azote, au moins approximativement ; il montait à 1 litre environ dans cet essai.

On remarquera encore que la marche du thermomètre a été sensiblement la même, soit que

l'on ait abandonné la fiole à elle-même, soit que l'on y ait fait passer de l'azote : ce qui est un nouveau contrôle, non absolu d'ailleurs.

IX. — Les pesées terminées, on a replacé la fiole dans l'enceinte calorimétrique et, au bout de quelque temps, on a repris l'expérience. On a d'abord suivi la marche du thermomètre, sans aucun courant gazeux, mais en agitant la fiole comme ci-dessus :

39e	minute	9°,42
41e	//	9, 43
43e	//	9, 45
48e	//	9, 47

X. — On fait alors passer dans la fiole, à travers le sang, un courant d'oxygène sec et pur, en agitant la fiole continuellement. Le sang reprend rapidement une teinte rutilante. Voici les températures observées :

49e	minute	9°,48
50e	//	9, 49
51e	//	9, 51
52e	//	9, 53
53e	//	9, 54
54e	//	9, 56
55e	//	9, 58
56e	//	9, 59
60e	//	9°,63
62e	//	9, 645
64e	//	9, 66

XI. — On arrête le courant d'oxygène ; mais on continue à agiter la fiole et à lire le thermomètre. L'action de l'oxygène continue, quoique plus faiblement : elle s'exerce aux dépens du gaz contenu dans le col de la fiole :

65e minute	9°,67
66e //	9, 68
69e //	9, 697

XII. — A ce moment, on soulève légèrement le bouchon de la fiole ; on y introduit par un tube flottant, en évitant très soigneusement de toucher le sang, un courant d'azote pur, mais humide, et l'on fait passer environ un quart de litre de ce gaz dans la partie supérieure de la fiole, de façon à y remplacer rapidement l'oxygène par de l'azote. On rebouche aussitôt la fiole et on la pèse au demi-milligramme.

XIII. — On a trouvé :

Accroissement de poids de la fiole (oxygène, diminué des poids de l'eau et de l'acide carbonique)	0gr,118
Gain du tube à ponce sulfurique (eau) .	0, 0162
Gain du tube à chaux sodée (acide carbonique)	0, 0385
Somme.	0, 1727

XIV. — Le premier gain représente l'oxygène fixé, diminué du poids de l'acide carbonique, déplacé par l'excès d'oxygène, et de celui de la va-

peur d'eau, entraînée simultanément. Le dernier poids n'a pas été compensé cette fois, comme avec l'azote, par la vapeur d'eau apportée par l'oxygène, parce que ce gaz a été employé sec, tandis que l'azote était saturé d'humidité.

Le poids de l'oxygène fixé s'élève donc réellement à $0^{gr},1727$.

Cela fait 125 centimètres cubes d'oxygène, dans les conditions de l'expérience; c'est-à-dire $20^{vol},2$ d'oxygène pour 100 volumes de sang. Ces nombres sont voisins de ceux qui sont donnés dans les Traités de Chimie physiologique pour la saturation, par l'oxygène, de sangs de densité analogue.

Le gaz éliminé est ici de l'acide carbonique simplement déplacé, sans que l'oxygène ait eu le temps d'en former une dose appréciable par son action propre. Ceci résulte, ainsi qu'il a été dit plus haut, de l'identité sensible du rapport entre le poids de l'acide carbonique et celui de l'eau, entraînés simultanément : d'une part, par l'azote :

soit $$\frac{21,0}{8,4} = 2,5 ;$$

d'autre part, par l'oxygène :

soit $$\frac{38,5}{16,2} = 2,4,$$

pendant les deux périodes successives de l'expérience.

Il est donc permis d'attribuer toute la chaleur produite à l'absorption proprement dite de l'oxygène.

Enfin le poids de la vapeur d'eau entraînée permet de calculer approximativement le volume de l'oxygène, qui a traversé le sang sans être absorbé ; ce volume s'élevait sensiblement à 2 litres, dans cette expérience.

Ces données définissent les phénomènes physico-chimiques relatifs aux gaz.

XV. — Examinons maintenant la mesure calorimétrique correspondante.

Pendant le passage de l'oxygène, la température s'est élevée entre la 48e et la 64e minute, c'est-à-dire pendant seize minutes : de 9°,47 à 9°,66.

D'autre part, après la fin du passage de l'oxygène, la réaction a continué encore pendant les cinq minutes suivantes, aux dépens de l'oxygène renfermé dans le col de la fiole, jusqu'au moment où l'on a expulsé celui-ci par un courant d'azote : ce qui a porté, en tout, en vingt-et-une minutes, la température à 9°,697. L'élévation totale a donc été de : + 0°,227.

Mais ce nombre doit être corrigé de l'influence

due au réchauffement extérieur. D'après les résultats observés lors du passage du courant d'azote, ce réchauffement, observé pendant quinze minutes, a été de + 0°,08 ; soit pour vingt-et-une minutes : une élévation de 0°,112, chiffre qu'il convient de retrancher du précédent.

L'effet dû à l'oxygène est donc, en définitive,

$$0,227 - 0,112 = + 0°,115.$$

Nous avons dit plus haut que la masse échauffée, réduite en eau, vaut 598,2.

La chaleur dégagée est donc, en définitive, $68^{cal},79$.

Mais ce nombre doit être accru de deux quantités : la première correspond à la chaleur absorbée par la vaporisation de l'eau, dans la portion d'oxygène qui a traversé le sang sans être absorbé. Dans la manière de procéder, décrite plus haut, cette vaporisation est compensée pour l'azote, qui est humide, mais non pour l'oxygène, qui est sec. Le poids de l'eau ainsi vaporisée dans le courant d'oxygène, à 9°,6, a été trouvé par expérience égal à $0^{gr},0162$; ce qui répond, d'après la chaleur de vaporisation déterminée par Regnault (1), à $9^{cal},71$ absorbées.

(1) $606^{cal},5 - 0,7\ t$ entre 0 et 100°, pour 1 gramme.

D'autre part, une certaine dose d'acide carbonique, soit $0^{gr},0385$, a été déplacée du liquide par le courant d'oxygène, phénomène physique qui répond à une certaine absorption de chaleur. Pour en tenir compte exactement, je ferai observer d'abord qu'une absorption de chaleur, due à une cause analogue, est déjà comprise dans la correction faite plus haut, d'après les chiffres observés pendant le passage préliminaire du courant d'azote. Celui-ci ayant déplacé en quinze minutes $0^{gr},021$ d'acide carbonique ; en vingt-et-une minutes, il aurait déplacé $0^{gr},029$. Or, l'oxygène ayant déplacé dans le même temps $0^{gr},0385$ d'acide carbonique, il n'y a lieu de tenir compte, dans la correction complémentaire, que de la différence : soit $0^{gr},0095$. Pour faire cette petite correction, j'admettrai que l'acide carbonique ainsi déplacé absorbe la même quantité de chaleur qu'il dégagerait, en sens inverse, en se dissolvant dans l'eau pure, soit 5 600 calories pour 44 grammes, d'après mes mesures. Cela fait, pour $0^{gr},0095$ d'acide carbonique : $1^{cal},21$; valeur qui peut être regardée comme applicable aux conditions actuelles sans erreur sensible. Les deux corrections relatives à l'eau et à l'acide carbonique, étant réunies, n'atteignent que

On arrête le courant d'oxygène :

70e minute	9°,925
72e »	9°.94

On expulse l'oxygène libre, resté dans le col, par un courant d'azote, sans toucher au sang, puis l'on pèse :

Accroissement du poids de la fiole . .	0gr,105
Gain du tube à ponce sulfurique (eau) .	0, 0162
Gain du tube à chaux sodée (acide carbonique)	0, 0456
Somme	0gr,1668

Cette somme est égale au poids de l'oxygène fixé dans la fiole.

Elle répond à 120cc,9 de ce gaz, dans les conditions de l'expérience ; ce qui fait 18vol,3 d'oxygène absorbé pour 100 volumes du sang mis en expérience : nombre voisin de celui de la première détermination.

Le rapport du poids de l'acide carbonique à celui de l'eau entraînée : d'une part, par l'azote :

$$\text{soit} \qquad \frac{22,5}{8,0} = 2,8 ;$$

d'autre part, par l'oxygène :

$$\text{soit} \qquad \frac{45,6}{16,2} = 2,8,$$

est le même pendant les deux périodes successives : ce qui montre que, dans les conditions de l'expérience, l'oxygène n'a pas eu le temps de

former de l'acide carbonique aux dépens du sang : la portion de ce gaz qui est entraînée étant déplacée par une simple action physique pendant la seconde période, comme pendant la première.

Donnons maintenant les calculs calorimétriques. L'élévation de température correspondant au passage de l'oxygène pendant 23 minutes (72-49) est

$$9^{\circ},94 - 9,72 = + 0^{\circ},220.$$

D'autre part, pendant le passage de l'azote, le gain par réchauffement extérieur a été de $9^{\circ},63 - 9,59 = 0^{\circ},083$ en dix-sept minutes. Pour vingt-trois minutes, cela fait $0^{\circ},112$.

L'effet propre dû à l'oxygène est donc

$$0,220 - 0,112 = 0^{\circ},108.$$

La masse échauffée réduite en eau vaut 630,2 ;

La chaleur dégagée est donc $68^{cal},06$.

D'autre part, le poids de l'eau vaporisée, à $9^{\circ},9$, soit $0^{gr},0162$, répond à $9^{cal},71$ absorbées.

L'acide carbonique dégagé s'élève à $0^{gr},0456$, avec une absorption de chaleur correspondante. Mais une partie de cette chaleur est déjà comprise dans la correction du refroidissement, déduite des résultats obtenus avec l'azote (voir p. 89). Cette portion serait, pour vingt-trois minutes, de $0^{gr},0326$. Restent seulement $0^{gr},013$

d'acide carbonique non compensé, répondant à $1^{cal},65$.

En définitive, on a :

Chaleur dégagée, sensible.	$69^{cal},06$
Chaleur absorbée, répondant à la vaporisation de l'eau	9, 71
Chaleur absorbée, répondant au dégagement de l'acide carbonique	1, 65
Total.	$79^{cal},42$

Ce chiffre répond à $0^{gr},1668$ d'oxygène absorbé pendant l'expérience. Si nous le rapportons à 16 grammes d'oxygène, nous trouvons : $7^{Cal},66$; ou, pour le poids moléculaire

$$O^2 = 32 \text{ grammes} : + 15^{Cal},32.$$

Les deux déterminations ont donné, en définitive :

I.	+ 14,96
II.	+ 15,32
Moyenne	$+ 15^{Cal},19$

Telle est la chaleur dégagée pendant l'absorption de l'oxygène par le sang, et indépendamment des réactions chimiques ultérieures, susceptibles de produire de l'acide carbonique.

Ce chiffre est notable et comparable à la chaleur de formation de composés oxygénés véritables, formés en vertu d'affinités faibles, tels que l'oxyde d'argent, lequel dégage pour 32 grammes d'oxygène, précisément + 14 Calo-

ries ; ou le bioxyde de baryum (depuis la baryte) : + $24^{Cal},2$; ou bien encore le bioxyde de plomb (depuis le protoxyde) : + $24^{Cal},5$, etc.

CHALEUR DÉGAGÉE PAR L'ACTION DE L'OXYDE DE CARBONE SUR LE SANG

Avant d'examiner les conséquences qui résultent des données précédentes, au point de vue de la chaleur animale, je donnerai encore les résultats des mesures semblables que j'ai faites avec l'oxyde de carbone et le sang. Deux déterminations ont été faites, en opérant exactement comme pour l'oxygène. J'en présenterai seulement les données essentielles, le détail étant semblable à celui des expériences précédentes :

III. *Sang* : $727^{gr},300$

(Après 24 heures de conservation)

Valeur en eau du système	660,6
1° Courant d'azote :	
Perte de poids de la fiole	$0^{gr},011$
Gain du tube à ponce sulfurique .	0, 0057
Gain du tube à chaux sodée . . .	0, 0101
2° Après le passage de l'oxyde de carbone (2 litres environ) :	
Gain de la fiole.	$0^{gr},072$
Gain du tube à ponce	0, 0159
Gain du tube à chaux sodée . . .	0, 0320
Oxyde de carbone fixé	$0^{gr},1199$

Soit 99cc,2 dans les conditions de l'expérience ; c'est-à-dire pour 100 volumes de sang : 14vol,6 d'oxyde de carbone.

Rapport $\frac{CO^2}{H^2O}$ 1re période (Az)	1,9
// 2e période (CO)	2,0
Température initiale	10°,37
Après 15 minutes (passage du courant d'azote)	10, 43

Nouvelle température, après pesées.	10°,46
Après 15 minutes (passage de l'oxyde de carbone).	10, 617
2 minutes après l'arrêt du courant gazeux	10, 626

Δt brut = 0°,166

Correction, d'après la période préliminaire de 15 minutes

Pour 17 minutes : 0°,068

$\Delta' t$ corrigée = 0°,098

Cette élévation de température est due à l'oxyde de carbone. Elle répond à	64cal,74
Vaporisation de l'eau.	9, 54
Déplacement de l'acide carbonique non compensé.	2, 55
Somme.	76cal,83

Ce nombre rapporté au poids moléculaire CO = 28gr,

équivaut à . . . . . + 18Cal,03

IV. *Sang* : 669gr,000

(Après 48 heures de conservation ; le sang n'offre pas d'odeur de putréfaction)

Valeur en eau du système	609,5
Courant d'oxyde de carbone :	
Gain de la fiole	0gr,073
Gain du tube à ponce	0, 0120
Gain du tube à chaux sodée . . .	0, 0413
Oxyde de carbone fixé	0gr,1263

Soit 104cc,4 ; c'est-à-dire pour 100 volumes de sang : 16vol,5 d'oxyde de carbone.

Température initiale	9°,940
Après 6 minutes (courant d'azote) .	9, 964

Nouvelle température	9°,95
Après 15 minutes (courant d'oxyde de carbone)	10°,13
2 minutes après arrêt	10, 143

Δt brut = 0°,193

Pour 17 minutes : 0°,068

$\Delta' t$ = 0°,125

Ce chiffre répond à	76cal,19
Vaporisation de l'eau	7, 20
Déplacement de CO^2, non compensé . . .	3, 70
Somme	87cal,09
Pour CO = 28gr	+ 19Cal,30

On a donc :

III	18Cal,03
IV	19, 30
Moyenne	18Cal,66

Telle est la chaleur dégagée pendant l'absorption de 28^{gr} d'oxyde de carbone par le sang.

Ce chiffre est de l'ordre de grandeur du chiffre observé avec l'oxygène, mais un peu supérieur, comme on pouvait s'y attendre : la combinaison d'hémoglobine et d'oxyde de carbone étant, d'une part, dissociable par le vide, comme celle de l'oxygène ; mais l'oxyde de carbone déplaçant, d'autre part, l'oxygène, dans la dernière combinaison. Les nombres observés sont donc d'un ordre de grandeur conforme aux prévisions de la théorie.

PROPORTION DE LA CHALEUR ANIMALE CORRESPONDANTE A L'ABSORPTION DE L'OXYGÈNE PAR LE SANG

Attachons-nous maintenant à la combinaison de l'oxygène avec le sang. Le nombre $+ 15^{Cal},2$ représente la chaleur dégagée dans cette réaction, telle qu'on peut l'admettre accomplie au sein du poumon, au moment de la réaction du sang sur l'oxygène gazeux (1), et indé-

(1) Les réactions qui pourraient s'effectuer ultérieurement dans le parenchyme des poumons, au même titre que dans celui des autres organes, c'est-à-dire par suite de réactions chimiques spéciales à la nutrition, ne sont pas comprises dans cette évaluation.

pendamment des actions chimiques susceptibles de produire l'acide carbonique. C'est à peu près le septième de la chaleur d'oxydation du carbone amorphe, par le même poids d'oxygène + $97^{Cal},65$; chaleur d'oxydation qui fournit, d'après les faits connus, une première estimation approchée de la chaleur animale.

La chaleur animale peut donc être décomposée en deux parties : une première portion, le septième environ, se dégagerait dans le poumon, au moment même de la fixation de l'oxygène, tandis que les six autres septièmes se développeraient au sein des divers organes de l'économie, par les réactions proprement dites d'oxydation et d'hydratation. Je n'ai pas besoin d'insister sur l'importance de cette détermination, qui résout pour la première fois un problème de répartition de la chaleur animale posé depuis un siècle.

Ce problème, à son tour, en a soulevé un autre, celui de l'élévation de la température du sang dans le poumon, question diversement résolue jusqu'ici. Il ne pouvait en être autrement ; car je vais montrer, en m'appuyant sur les données nouvelles présentées ci-dessus, que le sang peut être tantôt refroidi, tantôt réchauffé dans le poumon, au moment de l'absorption de l'oxygène, suivant les conditions de température

et d'état hygrométrique du milieu ambiant, et sans doute aussi, suivant les conditions normales ou pathologiques du milieu intérieur. Mais les échauffements, aussi bien que les refroidissements, attribuables à la simple absorption de l'oxygène et aux phénomènes concomitants, ne sauraient, dans l'état normal, s'écarter beaucoup d'un dixième de degré : ce qui explique les difficultés rencontrées par les physiologistes qui ont cherché à les mesurer. Entrons dans le détail.

La quantité + $15^{Cal},2$ est strictement applicable à la chaleur dégagée au moment où 32^{gr} d'oxygène se fixent sur le sang dans le poumon : je dis *pour le cas où l'on respire dans une atmosphère saturée d'humidité, à la température du sang*, c'est-à-dire vers 37°. De telles conditions sont réalisées souvent sous les tropiques : je les ai observées moi-même à Assouan, dans la Haute-Égypte, sur le Nil, vers minuit. Mais il convient d'en déduire la chaleur absorbée par la réduction en gaz de l'acide carbonique, préalablement dissous, et pris sous un volume à peu près égal à celui de l'oxygène : soit + $5^{Cal},6$, en adoptant le chiffre observé avec l'eau pure ; ce qui réduit à + $9^{Cal},6$ la chaleur réellement dégagée pendant l'absorption de 32 grammes d'oxy-

gène. Dans ce cas, le sang éprouvera dans le poumon, par le fait de l'absorption de l'oxygène, une *élévation de température* voisine de un dixième de degré, pour la richesse en plasma définie par la densité ci-dessus. En effet, on trouve, par un calcul facile, une élévation de 0°,093 pour 100 centimètres cubes du sang défini plus haut (densité = 1,057); en supposant qu'il absorbe 22 centimètres cubes d'oxygène à 37°. *A fortiori*, la température du sang s'élèverait-elle dans le poumon, si la température ambiante de l'air saturé de vapeur d'eau était plus haute. Il convient enfin d'ajouter à cette élévation de température celle que pourront produire les réactions développées ultérieurement dans le parenchyme du poumon, indépendamment de l'absorption initiale de l'oxygène.

Au contraire, supposons une *température ambiante de* 0°, *un air absolument privé de vapeur d'eau*, *et une respiration telle que l'air soit rejeté au dehors, saturé d'humidité et à la température du sang, telle que* + 37°; admettons, en outre, que l'air cède 4 centièmes de son volume d'oxygène au sang, en gagnant 4 centièmes d'acide carbonique. Dans ce cas, le calcul montre que l'échauffement de l'air, qui répond à l'absorption de 32 grammes d'oxygène,

absorbe environ 6 Calories, et sa saturation par la vapeur d'eau, + 15 Calories : en tout + 21 Calories. La chaleur mise en jeu dans les poumons par l'absorption de l'oxygène, envisagée séparément, sera donc . . + 9,2 — 21,0 = — $11^{Cal},8$.

Si elle agissait seule, ces conditions répondraient à un *abaissement de température* du sang, d'un dixième de degré environ.

Ainsi l'absorption de l'oxygène tend à élever la température du sang dans le poumon ; tandis que les productions de l'acide carbonique gazeux et de la vapeur d'eau tendent, au contraire, à l'abaisser.

La température de l'air ambiant agit dans un sens ou dans l'autre, suivant qu'elle est plus élevée ou plus basse que celle de l'être vivant. L'influence de l'air varie d'ailleurs, suivant son degré hygrométrique.

Les conditions de la vie normale, dans nos climats, sont, en réalité, intermédiaires entre ces conditions extrêmes ; et il serait facile de démontrer que l'air pris à 15°, à un terme un peu inférieur à son degré de saturation hygrométrique, et sortant des poumons avec une température de 30° — ce qui est voisin des conditions moyennes de la vie humaine parmi nous — ; donne lieu à des effets à peu près compensés, au point de

vue de l'élévation de la température du sang. Cette compensation a lieu, comme il arrive d'ordinaire, en vertu d'une sorte de balancement naturel, qui tend à maintenir l'équilibre physiologique entre d'étroites limites. Mais on peut réaliser, à cet égard, des conditions fort diverses : surtout si l'on fait intervenir, en outre, certaines circonstances pathologiques, qui diminuent ou qui accroissent la dose relative de l'oxygène consommé aux dépens de l'air.

Je ne veux pas pousser plus loin l'examen des questions, soulevées par les déterminations numériques de la chaleur réellement dégagée pendant l'absorption de l'oxygène par le sang. Les physiologistes sauront, mieux que moi, en développer toutes les conséquences.

CHAPITRE III

CHALEUR DE FORMATION ET DE COMBUSTION DE L'URÉE ET DE L'ACIDE CYANIQUE

I. CHALEUR DE COMBUSTION DE L'URÉE

L'étude thermochimique de l'urée offre un intérêt exceptionnel. En effet, l'urée est, après l'acide carbonique, la principale forme sous laquelle le carbone est éliminé au dehors de l'économie. Pour l'azote, c'est même la forme fondamentale d'élimination. Il est donc fort intéressant de savoir à quelle quantité de chaleur développée répond la production de l'urée dans les organes : cette quantité dépendant à la fois de la chaleur de formation de l'urée et de celle des principes qui l'engendrent. Tel est le problème que nous nous sommes proposé de résoudre, aucune combustion directe de l'urée par l'oxygène libre n'ayant été mesurée jusqu'ici.

L'urée employée a été séchée d'abord à 100°. Dans cet état, un dosage d'azote, par la méthode de Dumas, a fourni, en centièmes :

Azote.	46,8
Calcul	46,7

Le produit était donc pur, comme l'examen de ses propriétés générales permettait d'ailleurs de l'affirmer.

La *combustion de l'urée* a lieu facilement dans la bombe calorimétrique, sans donner lieu à aucune complication. Trois combustions, exécutées sur les poids de $1^{gr},039$; $0^{gr},7968$; $0^{gr},9301$ respectivement, ont fourni, pour un gramme d'urée :

	$2526^{cal},5$
	2533, 8
	2530, 1
Moyenne	$2530^{cal},1$

On en conclut que la réaction rapportée au poids moléculaire, $CH^4Az^2O = 60$ grammes :

$CH^4Az^2O(70^{gr}) + O^3$

$= CO^2$ gaz $+ Az^2$ gaz $+ 2H^2O$ liquide, dégage
$+ 151^{Cal},8$ à volume constant;
$+ 151,5$ à pression constante.

Nous avons essayé de contrôler ce chiffre, en oxydant l'urée par le brome, dans un milieu alcalin : soit en opérant avec l'urée introduite

daus une solution d'hypobromite, préparée à l'avance : soit en ajoutant le brome à un mélange de soude et d'urée, dissoutes à l'avance et mélangées. On a opéré, en outre, dans chacun de ces deux cas, tantôt avec un excès d'hypobromite, tantôt avec un excès d'urée. Quelle qu'ait été la marche suivie, nous avons trouvé que l'oxydation n'est jamais complète : les nombres obtenus, tant dans le dosage volumétrique de l'azote à froid que dans les mesures calorimétriques, ont fourni des valeurs trop faibles et des écarts de 4 à 10 centièmes avec la valeur réelle, répondant aux poids employés; aussi croyons-nous inutile de donner le détail de ces essais.

Quoi qu'il en soit, on déduit des données ci-dessus, qui sont tout à fait rigoureuses :

La *chaleur de formation de l'urée*. Nous en tirons, en effet

$$C + H^4 + Az^2 + O = CH^4Az^2O \text{ solide} : + 80^{Cal},8.$$

La *chaleur de dissolution moléculaire* de l'urée, vers 11°, en opérant sur 6 grammes d'urée et 400 centimètres cubes d'eau (deux essais concordants), a été trouvée : $- 3^{Cal},58$.

La chaleur de formation de l'urée dissoute, dans l'eau pure, ou dans l'urine, est donc, d'après cette donnée : $+ 77^{Cal},2$.

La *chaleur de combustion de l'urée dissoute* s'en déduit également :

CH^4Az^2O dissoute + O^3 gaz =
CO^2 gaz + Az^2 + $2H^2O$ . . . . + 155 Calories
CO^2 dissous . . . . . + 160,.6

On déduit encore les données suivantes, relatives à diverses réactions intéressantes, qui concernent la formation de l'urée, envisagée comme amide carbonique :

CO^2 gaz + $2AzH^3$ gaz
= CH^4Az^2O solide + H^2O liquide . + $31^{Cal},1$
CO^2 dissous + $2AzH^3$ dissoute
= CH^4Az^2O dissoute + H^2O . . . + $4^{Cal},3$

Supposons maintenant l'acide carbonique et l'ammoniaque combinés au préalable, sous la forme de carbonate d'ammoniaque dissous. D'après mes expériences, cette combinaison dégage, suivant la dilution et le degré inégal de dissociation du sel (1), de + $10^{Cal},7$ à + $12^{Cal},3$.

Dès lors, la formation de l'urée, au moyen du carbonate d'ammoniaque dissous, deviendrait endothermique, précisément comme celle des amides en général. Elle absorberait de

— $6^{Cal},4$ à — 8 Calories :

Ce qui explique pourquoi elle n'a pas lieu directement.

(1) *Essai de Mécanique chimique*, t. II, p. 232.

Au contraire, la transformation de l'urée en carbonate d'ammoniaque dissous dégagerait : de + $6^{Cal},4$ à + 8 Calories ;

Le tout conformément à ce qui arrive d'ordinaire pour l'hydratation des amides et des éthers.

On s'explique dès lors comment cette transformation a lieu si aisément, sous l'influence de ferments spéciaux, en donnant lieu :

Soit à la fermentation ammoniacale, en dehors de l'économie ;

Soit à l'urémie, dans l'être vivant.

Dans le cas où cette métamorphose serait localisée au sein d'un organe particulier, le rein ou la vessie par exemple, elle serait susceptible d'y développer une température exceptionnelle.

La chaleur qui répond à la transformation isomérique du cyanate d'ammoniaque en urée peut être évaluée dans l'état de dissolution à + $8^{Cal},3$, comme on va le montrer.

II. CHALEUR DE FORMATION DE L'ACIDE CYANIQUE ET DE L'URÉE

La chaleur de formation de l'acide cyanique dissous dans l'eau et sa chaleur de neutralisation par les bases n'ont pas encore été mesurées, en raison de la transformation rapide des dissolu-

tions de cet acide. La chaleur de formation du cyanate d'ammoniaque est cependant très intéressante à connaître, le cyanate d'ammoniaque étant isomérique avec l'urée et transformable dans ce composé même.

Je vais montrer comment on peut déduire les deux quantités de chaleur, relatives à la formation de l'acide cyanique et du cyanate d'ammoniaque, de la chaleur de formation du cyanate de potasse par les éléments; quantité que j'ai réussi à déterminer, en dissolvant le cyanate de potasse dans l'eau et en traitant la liqueur par l'acide chlorhydrique : ce qui donne lieu à diverses réactions, aboutissant à un état final tel que la liqueur renferme du chlorure de potassium, du chlorhydrate d'ammoniaque et de l'acide carbonique.

En étudiant de plus près la succession de ces réactions, j'ai pensé que l'on pouvait en déduire la chaleur même de neutralisation de l'acide cyanique par la potasse et l'ammoniaque et, par suite, sa chaleur de formation dans l'état dissous et celle du cyanate d'ammoniaque.

Je me suis appuyé sur ce fait bien connu que les acides faibles combinés aux bases alcalines, à l'état de sels dissous, sont déplacés immédiatement, en totalité ou sensiblement, par les

acides forts; ce qui arrive très généralement dans les cas où il ne se forme pas de sels acides. Ceci étant admis, on peut calculer la différence des chaleurs de neutralisation. Pour que le calcul soit tout à fait rigoureux, il serait nécessaire d'opérer dans le calorimètre par la méthode réciproque, c'est-à-dire en opposant tour à tour chacun des deux acides au sel potassique, sodique ou ammonique de l'autre, dans des conditions identiques de dilution et de température[1]. Mais un acide faible ne produit, en général, que des effets thermiques très petits, en agissant sur les sels potassique, sodique, ou ammonique, d'un acide fort (*Annales de Chimie et de Physique*, 4ᵉ série, t. XXX, p. 490, 491, 493, 499); dès lors, on peut négliger ces effets dans une première approximation. La remarque est essentielle, quand il s'agit d'un acide instable dans sa dissolution aqueuse, et que l'on ne peut opposer directement au sel potassique de l'acide fort.

Ceci étant admis, faisons agir divers acides étendus sur le cyanate de potasse dissous : le premier effet de leur action sera de déplacer l'acide cyanique, qui se transformera ensuite. Il

(1) *Essai de Mécanique Chimique*, t. I, p. 59.

s'agit de saisir, à l'aide du thermomètre, ce premier effet, c'est-à-dire la mise en liberté de l'acide cyanique, et de le distinguer des transformations consécutives.

En conséquence, j'ai pris $81^{gr},1$ de cyanate de potasse, CAzKO, pur et bien cristallisé; je les ai dissous dans un volume d'eau tel que la liqueur occupât 2 litres; j'ai pris ensuite 300 centimètres cubes de cette liqueur, que j'ai mélangés, à 23°, avec 300 centimètres cubes d'acide chlorhydrique (HCl = 2 litres).

J'ai opéré de même, avec 300 centimètres cubes d'acide acétique

$$(C^2H^4O^2 = 2 \text{ litres});$$

de même encore, avec une dose équivalente d'acide borique (B^2O^3 = 6 litres).

Dans tous les cas, j'ai observé la marche du thermomètre, en m'attachant surtout au premier effet.

I. — Celui-ci a pu être reconnu distinctement au bout d'une demi-minute à une minute, avec l'acide acétique. Au bout de ce temps la variation du thermomètre étant de + 0°,265, on conclut des chiffres mesurés que la réaction suivante

$$\text{CAzKO dissous} + C^2H^4O^2 \text{ dissous} = \text{CAzHO dissous} + C^2H^3KO^2 \text{ dissous}$$

répondrait à $+ 1^{Cal},9$.

Pendant la minute suivante, un nouvel effet a dégagé seulement + $0^{Cal},4$; pendant la troisième minute le dégagement de chaleur s'est accru : + $1^{Cal},1$, etc. Ces nouveaux dégagements résultent évidemment de réactions étrangères au déplacement même de l'acide cyanique par l'acide acétique.

En admettant, comme je l'ai fait plus haut, que le premier dégagement réponde uniquement (ou principalement) au déplacement de l'acide cyanique, la chaleur de neutralisation de ce dernier sera égale à

$$+ 13,3 - 1,1 = + 12^{Cal},2.$$

II. — Une expérience similaire, faite avec l'acide chlorhydrique, a produit une transformation beaucoup plus rapide qu'avec l'acide acétique et telle qu'il n'a pas été possible d'y saisir l'indice certain d'une distinction entre le simple déplacement et la décomposition complète. Cependant, calculée telle quelle, elle fournirait pour le déplacement une valeur comprise entre 1 et 2 Calories ; c'est-à-dire pour la chaleur de neutralisation de l'acide cyanique, un chiffre compris entre 11 et 12 Calories.

III. — L'acide borique, au contraire, n'a déterminé aucune réaction thermique sensible, en réagissant sur le cyanate de potasse ; la tempé-

rature du mélange ayant été trouvée + 22°,420, au lieu de + 22°,421 calculée, et cette température demeurant ensuite invariable (sauf les effets très petits d'un refroidissement normal).

Cette absence de réaction conduit à une conclusion remarquable : à savoir que l'acide borique ne déplace pas l'acide cyanique, le cyanate de potasse conservant en sa présence la même stabilité qu'en présence de l'eau pure. Si l'on observe que

B^2O^3 dissous + KOH dissoute, en présence de $300H^2O$, dégage . . + $11^{Cal},6$

on est autorisé à admettre que la chaleur de neutralisation de l'acide cyanique dissous, par la potasse également dissoute, surpasse cette valeur : ce qui est conforme au résultat observé avec l'acide acétique.

Nous admettrons donc, comme valeur approchée,

CAzHO dissous + KOH dissoute
= CAzKO dissous + H^2O . . + $12^{Cal},2$

La chaleur même de formation du cyanate de potasse par les éléments étant connue, on déduit de là, par un calcul facile, la chaleur de formation de l'acide cyanique lui-même par les éléments ; soit

C + Az + H + O + Eau = CAzHO dissous. + $37^{Cal},0$
CyH dissous + O = CyHO dissous . . . + $61^{Cal},4$

La transformation de l'acide cyanique dissous en bicarbonate d'ammoniaque dissous

$$CAzHO \text{ dissous} + 2\,H^2O = CO^2.H^2O.AzH^3 \text{ dissous, dégagera} + 24 \text{ Calories.}$$

C'est là un résultat qu'il convient de rapprocher de la chaleur d'hydratation des nitriles (Berthelot et Petit : *Ann. de Chim. et de Phys.*, 6e série, t. XVIII, p. 140). Il explique la grande instabilité de l'acide cyanique en présence de l'eau.

Cherchons maintenant à évaluer la chaleur de formation du cyanate d'ammoniaque dissous, et, par suite, sa chaleur de transformation en urée. On pourrait s'appuyer sur une relation générale, d'après laquelle la substitution de K à $(Az + H^4)$, dans les sels solides, répond à un dégagement de chaleur presque constant, et tend vers une moyenne de $+ 28^{Cal},7$ (*Thermochimie* : *Données et lois numériques*, t. I, p. 319), notamment pour les cyanates sulfurés. En appliquant ce chiffre au cyanate de potassium, on en déduit, pour la formation du cyanate d'ammonium par les éléments, la valeur + 73,1 et pour la transformation de ce dernier sel en urée une valeur voisine de + 7,1.

Mais on peut recourir à des données expérimentales plus précises.

Pour y parvenir, je me suis appuyé sur une autre relation générale, déduite de mes expériences (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 4e série, t. XXIX, p. 503; 1873). D'après cette relation, les sels de potasse (et de soude) des acides faibles, étant mis en dissolution, en présence des sels ammoniacaux des acides forts, sont décomposés immédiatement, avec formation du sel le plus stable possible, c'est-à-dire du sel potassique (ou sodique) de l'acide fort. Cette décomposition se traduit par une absorption de chaleur, égale à l'excès de la différence entre les chaleurs de neutralisation mesurées des sels potassique et ammonique de l'acide fort, sur la différence semblable, mesurée pour les sels de l'acide faible.

Par exemple, entre les chaleurs de neutralisation de l'acide chlorhydrique par la potasse et l'ammoniaque, la différence est égale à $+ 1^{Cal},3$; entre les chaleurs de neutralisation des mêmes bases par l'acide carbonique, la différence s'élève à $+ 4^{Cal},4$. D'où résulte un excès calculé de $3^{Cal},1$. Or, telle est précisément, en fait et d'après mes expériences, la chaleur absorbée, lorsqu'on mélange à équivalents égaux une solution de carbonate de potasse, soit avec le chlorhydrate d'ammoniaque, soit avec l'azotate d'ammo-

niaque, soit avec le sulfate d'ammoniaque, soit même avec l'acétate d'ammoniaque.

Ceci étant posé, j'ai fait l'expérience suivante : j'ai mélangé dans le calorimètre le cyanate de potasse et le chlorhydrate d'ammoniaque dissous. Ce mélange donne un abaissement de — 0°,050 ; d'où l'on déduit

CAzKO(1 équival. = 2 litres) + AzH^3.HCl(1 équival. = 2 litres), absorbe : — $0^{Cal},2$.

Cette absorption est minime et de l'ordre de grandeur de celles que l'on observe lorsqu'on mélange les dissolutions des sels stables. Pour en compléter le sens, il faudrait faire l'essai réciproque entre le cyanate d'ammoniaque dissous et le chlorure de potassium ; ce qui n'est guère praticable.

En tout cas, on peut en conclure que la différence entre les chaleurs de neutralisation de l'acide cyanique dissous, par la potasse et par l'ammoniaque, est voisine de la valeur + 1,5.

De là résulte, pour la chaleur de combinaison de l'acide cyanique dissous avec l'ammoniaque, la valeur approchée suivante

CAzHO dissous + AzH^3 dissoute
= CAzHO.AzH^3 dissous. . . . . + $10^{Cal},9$.

On en conclut la chaleur de formation du cyanate d'ammoniaque dissous par les éléments :

$$C + Az^2 + H^4 + O + \text{eau} = CAzHO.AzH^3 \text{ dissous} \ldots\ldots\ldots + 68^{Cal},9.$$

Or, la chaleur de formation de l'urée dissoute par les éléments, d'après les expériences précédentes, étant pour CH^4Az^2O dissoute : $+ 77^{Cal},2$; il en résulte que le changement du cyanate d'ammoniaque en urée, dans l'état de dissolution, dégage : $+ 8^{Cal},3$.

III. — ROLE THERMIQUE DE L'URÉE DANS L'ÉCONOMIE

Le rôle thermique de l'urée, dans les phénomènes d'oxydation accomplie au sein de l'économie, peut être apprécié d'après les données que nous venons de déterminer. Il en résulte, en effet, que l'oxydation totale de l'urée dégagerait une quantité de chaleur inférieure de $11^{Cal},8$ à celle de ses éléments combustibles, supposés libres :

Soit $+ 151^{Cal},5$; au lieu de $+ 163^{Cal},3$.

Ce chiffre ne s'écarte pas beaucoup de la valeur moyenne : + 157,5 Calories, attribuable

d'ordinaire à la différence CH^2 des corps homologues. Elle l'emporterait, au contraire, de $+ 47^{Cal},2$ sur la chaleur de combustion du carbone renfermé dans l'urée.

Ces évaluations ne sont d'ailleurs applicables qu'aux réactions exceptionnelles qui donnent naissance à l'azote libre, au sein de l'intestin, et peut-être aussi — car la chose est contestée — dans la respiration : ces cas sont les seuls où il puisse être question de la combustion totale de l'urée dans l'économie.

En général, l'urée est rejetée au dehors en nature : c'est même la forme principale sous laquelle l'azote sort de l'organisme. De là, deux conséquences :

L'une relative à la combustion des principes azotés, dont l'azote dérive en principe de l'ammoniaque, et qui conservent la majeure partie de l'énergie correspondante dans leur constitution ;

L'autre relative, au contraire, à la combustion du carbone organique, avec production d'acide carbonique, combustion dont l'urée représente l'une des formes.

A ce dernier point de vue, la production de l'urée répond au développement de deux à trois centièmes de la chaleur animale dans le corps

humain ; quantité jusqu'ici non calculable et méconnue, mais qu'il conviendra d'ajouter désormais, dans les évaluations physiologiques, à celle qui répond à l'acide carbonique exhalé dans le poumon.

Au contraire, le fait même de l'apparition de l'urée, au lieu d'azote libre, montre que l'ammoniaque, ou plus exactement l'azote amidé, constitutif des principes immédiats des êtres vivants, est brûlé bien plus difficilement que leur carbone et leur hydrogène. Tandis que ces derniers éléments sont rejetés incessamment au dehors, sous forme d'eau, d'acide carbonique et d'amide carbonique (urée), par suite de la réaction de l'oxygène sur les tissus organisés ; l'azote, au contraire, chez les animaux, n'est éliminé à l'état libre, nous le répétons, que dans des condition spéciales, et principalement au sein de l'intestin. Il n'est même pas changé en composés oxydés, formés aux dépens des combinaisons où il est engagé au sein de l'organisme animal, telles que l'urée ; car cet azote organique demeure susceptible de reparaître, par suite des fermentations hydratantes, sous la forme d'ammoniaque.

L'azote s'oxyde cependant dans les matières organiques qui constituent la terre végétale, et

même dans les tissus de certains végétaux, tels que les Amarantes, sous l'influence des ferments spéciaux de la nitrification. Les organismes végétaux, microbiens ou autres, conservent à cet égard leur aptitude supérieure à développer des phénomènes synthétiques et des évolutions plus profondes que les organismes animaux.

Mais revenons à ces derniers. L'azote combiné, introduit par les aliments, traverse l'organisme animal, en conservant à peu près toute son énergie calorifique ; par opposition à ce qui arrive pour le carbone et l'hydrogène de ces mêmes aliments qui la perdent graduellement. Ce sont là des circonstances propres à caractériser le rôle et l'élimination de l'azote et de l'urée dans l'économie humaine : on en développera plus loin les conséquences, au point de vue de la chaleur animale.

CHAPITRE IV

—

GLUCOGENÈSE ET THERMOGENÈSE DANS L'ÉCONOMIE

Les problèmes de chimie physiologique, qui se présentent dans l'étude des êtres vivants, soulèvent une multitude de questions thermo-chimiques du plus haut intérêt : j'ai signalé plusieurs de ces questions dans le Chap. I[er]; mais je je ne saurais en aborder l'ensemble dans le cadre restreint du présent ouvrage. Je crois cependant utile de donner quelque idée de la marche des raisonnements et calculs thermochimiques, qu'il convient de suivre dans ce genre d'études, abordées trop souvent à des points de vue partiels et systématiques : je me renfermerai d'ailleurs dans les déductions d'ordre chimique, ne voulant pas entrer dans le domaine bien autrement compliqué des phénomènes biologiques. Je prendrai comme exemple les calculs relatifs à la thermogenèse et à la glucogenèse, des organismes animaux.

En effet, la formation du sucre au sein de l'économie, son rôle dans les échanges respiratoires et dans la thermogenèse, offrent un intérêt tout spécial ; les problèmes et les méthodes, relatifs à cette étude, pouvant être regardés comme des types, applicables aux divers principes immédiats, contenus ou produits dans l'organisme. C'est ce qui m'engage à présenter certaines observations, destinées à préciser les conditions nécessaires qu'il convient de faire intervenir, au point de vue chimique et thermique. Les méthodes de calcul et les problèmes généraux étant ainsi définis pour la formation d'un principe immédiat particulier, il sera facile de traiter suivant les mêmes règles la formation d'un principe immédiat quelconque, ainsi que ses conséquences thermochimiques.

Rappelons d'abord que le glucose, et plus généralement les hydrates de carbone, joints aux corps gras et aux albuminoïdes, constituent les trois ordres de principes immédiats fondamentaux de l'économie. Leurs transformations réciproques, leurs oxydations et leurs hydratations comprennent les réactions essentielles qui s'accomplissent par le fait de la nutrition, de la respiration et des sécrétions. En ce qui touche les hydrates de carbone, en particulier, ces

réactions dans l'organisme sont mal connues ; leur complexité n'ayant pas été suffisamment démêlée par expérience.

Cependant, on a cherché à en simplifier l'examen par les hypothèses suivantes :

1° On envisage ces réactions comme dues à une simple oxydation ;

2°On suppose que l'oxydation physiologique des matières animales porterait principalement sur les corps gras ;

3° Que cette oxydation fournirait d'abord du glucose et du glycogène, joints à quelque dose d'acide carbonique et d'eau, composés complètement brûlés ;

4° Le glucose et le glycogène se changeraient ensuite, directement et sans intermédiaire, dans ces deux derniers et ultimes produits ;

5° Enfin, on exprime le premier degré d'une semblable oxydation par une équation déterminée.

Ces conjectures et hypothèses multipliées ont été particulièrement mises en avant pour rendre compte des cas où l'oxygène s'accumule dans l'économie animale ; sans que son poids soit compensé en totalité par une perte, due aux excrétions et notamment aux produits gazeux, tels que l'eau et l'acide carbonique, éliminables

tant par la surface cutanée que par la surface pulmonaire. C'est là ce qui arrive, par exemple, aux animaux hibernants, au moins d'une façon momentanée, et ce qui peut être observé, dans certaines conditions, même pendant la vie normale des animaux supérieurs.

Quel que soit le mérite de semblables hypothèses, elles ont au moins cet avantage de préciser la position du problème et il paraît utile de les examiner.

En principe, quel que soit le processus suivi dans l'organisme d'un animal adulte, à sang chaud, en son état de santé parfaite, il est certain qu'aucune classe de principes ne s'y accumule indéfiniment. Dès lors une fixation momentanée d'oxygène, non éliminable immédiatement à l'état de composés entièrement brûlés, ne saurait résulter que de la formation de produits transitoires. Ce sont ces produits qu'il convient de rechercher parmi les trois groupes : albuminoïdes, graisses, hydrates de carbone ; ou bien encore, parmi les combinaisons réciproques des dérivés de l'un de ces groupes avec les dérivés des autres. Sans introduire à cet égard de nouvelles suppositions, distinctes de celles qui ont été proposées jusqu'ici, il me paraît utile, je le répète, d'indiquer les méthodes de calculs re-

latives à la chaleur que pourrait développer telle ou telle transformation spéciale de ces divers principes ; et au quotient respiratoire correspondant.

J'envisagerai d'abord les calculs qui concernent la formation du sucre au moyen des principes ternaires, de l'ordre des corps gras ; puis au moyen des principes quaternaires, de l'ordre des albuminoïdes. Je signalerai ensuite la formation thermique des dérivés quelconques des corps gras, envisagés d'une façon plus générale, ainsi que celle des dérivés du glucose.

Équations de transformation. — Soit un principe ternaire quelconque, formé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène ; sa transformation par l'oxygène libre en glucose, eau et acide carbonique, sera exprimée par la formule suivante :

$$x\mathrm{C}^a\mathrm{H}^b\mathrm{O}^c + y\mathrm{O} = z\mathrm{C}^6\mathrm{H}^{12}\mathrm{O}^6 + u\mathrm{CO}^2 + v\mathrm{H}^2\mathrm{O} ;$$

d'où résultent les équations que voici :

Carbone . .	$ax = 6z + u,$
Hydrogène .	$bx = 12z + 2v,$
Oxygène . .	$cx + y = 6z + 2u + v.$

Les cinq inconnues peuvent être réduites à quatre, en prenant leur rapport à l'une d'entre elles, telle que x. Les valeurs de ces inconnues devront nécessairement être toutes positives ; à

conque de stéarine en glucose et acide carbonique.

$$(3) \qquad \frac{n}{9,5}(2) + \left[1 - \frac{n}{9,5}\right](1).$$

3. *Rapport entre l'acide carbonique et l'oxygène, en volumes (quotient respiratoire).* — Voici quelle en est la valeur pour les cas envisagés :

Combustion totale (1) . . .	$\frac{57}{81,5} = 0,70$
Transformation totale en glucose (2)	Zéro.

Entre ces deux réactions limites, on aura une valeur quelconque intermédiaire, telle que :

$$\left[1 - \frac{n}{6,5}\right] 0,70.$$

A fortiori, le rapport serait-il variable, si l'oxydation fournissait d'autres produits que le sucre, l'eau et l'acide carbonique.

On voit par là combien il serait arbitraire d'adopter telle ou telle équation particulière, comprise entre les limites (1) et (2), comme base d'un raisonnement général, relatif à la chaleur produite, ou même au rapport entre l'acide carbonique développé et l'oxygène consommé.

4. *Transformation de la glycérine en glucose.* — Cependant, s'il était une équation de ce

genre que l'on pût proposer avec quelque probabilité, ce serait celle qui envisagerait comme transformable en glucose la glycérine, génératrice de la stéarine ; ce qui revient à faire $n = \frac{1}{2}$ dans la formule (3) :

(4) $2C^{57}H^{110}O^6 + 157O^2 = C^6H^{12}O^6 + 108CO^2 + 104H^2O.$

C'est là d'ailleurs je le répète, la seule réaction qui puisse être proposée avec quelque vraisemblance expérimentale, dans l'état présent de la science ; du moment où l'on suppose le glucose produit au moyen de la stéarine. Cette réaction répond en effet à des faits réels, tels que les observations déjà anciennes, dans lesquelles j'ai vu la glycérine se changer, sous l'influence de certains ferments, en un sucre lévogyre (1).

5. *Les animaux hibernants.* — A la vérité, dans des conditions spéciales, telles que le sommeil des animaux hibernants, les corps gras disparaissent et la dose du glucose augmente ; tandis que le dégagement de l'acide carbonique est extrêmement ralenti. Il semble que nous nous rapprochions ainsi de l'équation (2). Cependant, rien ne prouve jusqu'ici que la fixation d'oxy-

(1) *Chimie organique fondée sur la synthèse*, t. II, p. 649.

gène, accomplie dans ces conditions, ait eu pour effet principal de changer les corps gras en sucre (ou en glycogène). C'est une question de dosage, qui n'a jamais été précisée, à ma connaissance.

En fait, la proportion actuelle de glucose et de glycogène, dans l'état normal des tissus des animaux supérieurs, ne s'élève pas au-delà de quelques millièmes de leur poids total; tandis que le corps humain, à l'état normal, renfermerait en moyenne, d'après les analyses connues, 18 pour 100 de son poids de corps gras; le mouton maigre : 18,7 centièmes; le porc maigre : 23,3, etc. Le poids de la graisse peut même s'élever, chez des animaux gras, à 40 ou 45 centièmes.

La disproportion entre le poids du sucre et celui de la graisse, à l'état normal, est énorme, on le voit : il ne suffit donc pas de constater l'existence de quelques millièmes, ou même de quelques centièmes de glucose, pour démontrer que la totalité, ou à peu près, de la graisse des animaux hibernants se change réellement en sucre (et en glycogène) : il faudrait pour cela que le poids total de ces derniers principes, successivement formés pendant le cours de l'hibernation, s'élevât à plus de 30 centièmes du poids de l'animal, On a supposé que le glucose formé d'abord dans l'organisme se détruirait à mesure et se renou-

vellerait constamment. Tout cela est possible *a priori ;* mais il conviendrait de le démontrer, par des analyses quantitatives exactes, qui n'ont jamais été faites.

6. *Chaleur dégagée.* — Examinons maintenant la chaleur dégagée :

1° Les équations limites (1) et (2) satisfont à une condition fondamentale des réactions directes : elles sont toutes deux exothermiques, mais avec des valeurs très inégales.

En effet, la chaleur dégagée dans la transformation totale de la stéarine en acide carbonique et eau, d'après l'équation (1), répond environ à $9^{Cal},6$ pour 1 gramme de stéarine ; tandis que la transformation totale de la stéarine en glucose, d'après l'équation (2), dégagerait, pour le même poids, $2^{Cal},4$ seulement, c'est-à-dire le quart.

Le dernier nombre s'applique sensiblement à la formation du glycogène ; l'hydratation qui change ce dernier en glucose répondant à un phénomène thermique faible.

Le glucose ainsi formé d'abord, par hypothèse, puis soumis à une oxydation complète, dégagerait encore $7^{Cal},2$ par gramme de stéarine initiale, c'est-à-dire 6 450 Calories par molécule de stéarine. Chaque molécule de glucose, ainsi

détruite, dégage 677 Calories; soit $3^{Cal},8$ par 1 gramme de glucose.

Pour chaque double atome d'oxygène fixé ($O^2 = 32^{gr}$), la chaleur dégagée par la réaction (1) sera 105 Calories; soit $3^{Cal},28$ pour 1 gramme d'oxygène.

Dans la réaction (2), O^2 fixé dégage 44 Calories; soit $1^{Cal},4$ environ pour 1 gramme d'oxygène. Chaque molécule d'acide carbonique ($CO^2 = 44^{gr}$) produite d'après la réaction (1), dégagerait 150 Calories; soit $3^{Cal},4$ environ par gramme. Quant à la réaction (2), elle ne produit pas d'acide carbonique.

Avec ces données, il est facile de définir les résultats fournis par une transformation quelconque, répondant à la simultanéité des réactions (1) et (2). Le calcul relatif à n molécules de glucose produites s'exécute immédiatement à l'aide de l'équation (3).

Pour $n = \frac{1}{2}$ en particulier (glycérine changée en glucose), c'est-à-dire pour l'équation (4), la chaleur dégagée par 1 gramme de stéarine transformée sera $9^{Cal},2$; chaque double atome d'oxygène fixé dégagera $101^{Cal},8$, soit, pour 18 grammes d'oxygène, $3^{Cal},18$; chaque molécule d'acide carbonique produit répond à

142 Calories, soit $3^{Cal},2$ par gramme de ce composé.

Observons enfin que les transformations ultérieures du glucose par oxydation, dans l'économie, peuvent être effectuées, soit d'un seul coup, ou bien en traversant plusieurs phases successives. Ce qui répond à des quantités de chaleur différentes et à des rapports inégaux $\frac{CO^2}{O}$, pour un même poids de corps gras détruit. Ceci sera développé tout à l'heure davantage.

7. *Oxydation graduelle de la stéarine.* — Bornons-nous pour le moment à examiner les degrés successifs de l'oxydation de la stéarine, observés réellement dans les opérations des laboratoires. Disons immédiatement que de telles oxydations dans l'économie n'ont rien d'invraisemblable ; car les corps gras soumis à une oxydation spontanée lente sont susceptibles d'éprouver des réactions de cet ordre, sous l'influence de l'oxygène atmosphérique, comme le montre l'analyse que j'ai faite des corps gras renfermés dans un flacon trouvé dans une nécropole gallo-romaine, près de Reims (1).

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XII, p. 448.

Admettons d'abord, pour simplifier, qu'une première altération ait séparé, par hydratation, ou par oxydation, ou par formation de glucose, la glycérine, c'est-à-dire 5 centièmes du carbone de la stéarine. Les réactions de cette glycérine sont d'ailleurs très différentes de celles des acides gras, auxquelles elle était combinée, et doivent être envisagées à part.

Ceci admis, l'acide stéarique restant est susceptible de s'oxyder suivant trois modes différents :

Par perte d'hydrogène, formant de l'eau

$$C^{18}H^{36}O^2 + O = C^{18}H^{34}O^2 + H^2O;$$

par fixation simultanée d'oxygène, avec formation d'un acide bibasique

$$C^{18}H^{36}O^2 + O^3 = C^{18}H^{34}O^4 + H^2O;$$

enfin, par élimination simultanée d'eau et d'acide carbonique, avec formation d'un homologue

$$C^{18}H^{36}O^2 + O^3 = C^{17}H^{34}O^2 + CO^2 + H^2O.$$

La première réaction dégagerait, pour 1^{gr} d'acide stéarique; $0^{Cal},1$ environ. Pour la seconde et pour la troisième réaction, on aurait $0^{Cal},5$ environ.

Mais le rapport en volume $\frac{CO^2}{O}$ est égal à zéro

dans les deux premières réactions ; à 0,67 dans la troisième.

L'acide homologue, ainsi formé, $C^{17}H^{34}O^2$, sera susceptible, à son tour, d'éprouver les mêmes réactions que l'acide stéarique, et l'on descendra par degrés réguliers l'échelle des combustions partielles, et des dégagements de chaleur qui en sont la conséquence, jusqu'à la transformation totale de la stéarine en eau et en acide carbonique. On sait, en effet, que l'on obtient, dans ces oxydations, la double série des acides $C^nH^{2n}O^2$ et $C^nH^{2n-2}O^4$.

Chaque fixation d'oxygène peut avoir lieu : tantôt sans aucune production d'acide carbonique, en engendrant un acide, $C^nH^{2n-2}O^4$; tantôt avec production simultanée d'acide carbonique et d'un acide $C^{n-1}H^{2n-2}O^2$.

La chaleur dégagée est sensiblement la même dans les deux cas ; tandis que le quotient respiratoire, $\frac{CO^2}{O}$, peut être tantôt nul, tantôt égal à 0,67.

Ce sont là des relations constatées par les expériences de laboratoire et dans l'altération des corps gras : il est essentiel d'en tenir compte, pour toute discussion physiologique relative à la chaleur animale. La chose est d'autant plus

nécessaire que la formation des acides gras inférieurs à l'acide stéarique, tels que les acides du beurre et analogues (caprique, caproïque, valérique, butyrique), et même celle des acides acétique et formique, a été constatée en fait dans les organismes animaux ; et il en est de même de la formation des acides bibasiques, tels que les acides succinique et oxalique. Il semble, dès lors, que ces acides et leurs dérivés amidés : glycollamine, leucine, etc., soient les vrais composés sur lesquels devrait porter toute discussion relative à l'oxydation des corps gras, envisagés comme sources de la chaleur animale.

II. — HYDRATES DE CARBONE

1. Les hydrates de carbone, sucres, glycogène, amidon, cellulose, etc., jouent un rôle important parmi les aliments de l'homme et des animaux. Certains d'entre eux font partie de leurs tissus ; ils sont fondamentaux parmi les principes immédiats des végétaux. Il est dès lors essentiel de discuter, au point de vue thermochimique, les transformations successives dont ils sont susceptibles dans l'économie. Nous envisagerons en particulier le cas où ces hydrates de car-

bone seraient supposés dériver des corps gras oxydés, de la stéarine par exemple.

Entrons à cet égard dans quelques développements : spécialement pour les relations entre l'oxygène fixé, l'acide carbonique et la chaleur dégagée, durant le cours des transformations chimiques accomplies au sein des êtres vivants. Envisageons le glucose, pour préciser.

2. Chaque molécule de ce corps dissous, $C^6H^{12}O^6$, est susceptible de se transformer en alcool dissous, $2C^2H^6O$, et acide carbonique gazeux, $2CO^2$,

$C^2H^{12}O^6$ dissous $= 2C^2H^6O$ dissous $+ 2CO^2$ gaz,

ce qui dégage . . . . . $+ 33^{Cal},0$.

Si cette réaction avait lieu sur la totalité des $9\frac{1}{2}C^6H^{12}O^6$, engendrables par une molécule de stéarine (p. 132), elle développerait 314 Calories. La chaleur dégagée pour 1 gramme de stéarine, soit $2^{Cal},4$, serait ainsi accrue de $0^{Cal},35$, c'est-à-dire d'un septième.

Ajoutons que, pour chaque molécule d'acide carbonique, CO^2, ainsi produite, la chaleur dégagée s'élèverait à $+ 16^{Cal},5$; c'est-à-dire au sixième de la chaleur de combustion du carbone libre ; ce qui ferait pour 1 gramme d'acide carbonique : $0^{Cal},375$.

Or, dans cette première réaction, *il n'y a pas fixation d'oxygène.*

3. Le rapport de volume entre l'acide carbonique dégagé et l'oxygène fixé dans la transformation totale de la stéarine est également modifié. Si tout le glucose devenait alcool et acide carbonique, on aurait le rapport en volume

$$\frac{CO^2}{O} = \frac{19}{49} = 0{,}39,$$

C'est-à-dire, pour un molécule de stéarine :

$$(5)\quad C^{57}H^{110}O^6 + 24\tfrac{1}{2}O^2 + 2H^2O = 19CO^2 + 19C^2H^6O.$$

Ce rapport étant égal à zéro pour une transformation totale de la stéarine en glucose, d'après l'équation (2) (p. 132), il en résulte qu'en fait on pourra obtenir tous les quotients respiratoires compris entre o et 0,39 : suivant la proportion de glucose consécutivement changé en alcool et acide carbonique, l'oxygène demeurant constant, tandis que l'acide carbonique varie suivant des proportions très diverses.

Or il est incontestable que des variations de ce genre sont susceptibles de se produire dans l'économie, soit au sein d'un même organe, soit dans des organes différents.

On voit, par ces exemples et par ces chiffres précis, que la connaissance du quotient respiratoire, $\frac{CO^2}{O}$, ne nous apprend rien de certain, ni sur la chaleur animale, ni sur la nature des réactions qui en sont l'origine : pas plus d'ailleurs que sur la nature des produits formés dans les organismes végétaux, par le fait de leur respiration. En effet, cette chaleur et ce coefficient peuvent résulter d'une multitude de réactions, indépendantes les unes des autres et susceptibles de se manifester dans des régions tout à fait distinctes de l'économie.

En particulier, un même rapport entre l'acide carbonique dégagé et l'oxygène fixé peut ainsi répondre à des quantités de chaleur très inégales, développées au sein d'un même organe. Réciproquement, une même quantité de chaleur dégagée peut correspondre à des rapports tout à fait différents entre les deux gaz.

4. *Série de réactions consécutives à la formation supposée du glucose.* — Ce n'est pas tout : nous n'avons envisagé ici qu'une seule réaction consécutive à la formation du glucose ; mais il peut s'en développer toute une série. Par exemple, l'alcool résultant du dédoublement du glucose est, à son tour, susceptible de s'oxyder et il

peut le faire, sans produire une nouvelle dose d'acide carbonique, tout en développant des quantités de chaleur considérables ; supérieures même à celle dégagée par la formation de l'acide carbonique au moyen du carbone libre, par suite de la combinaison d'un même poids d'oxygène. En voici des exemples :

Alcool changé en

Aldéhyde : $C^2H^6O + O = C^2H^4O + H^2O$; état dissous $+ 114^{Cal}$ pour O^2

Ac. acétique : $C^2H^6O + O^2 = C^2H^4O^2 + H^2O$; état dissous $+ 104^{Cal}$ pour O^2

Ac. oxalique : $C^2H^6O + O^5 = C^2H^2O^4 + 2H^2O$; état dissous $+ 104^{Cal}$ pour O^2

Ces trois réactions donnent également lieu à une absorption d'oxygène, sans production d'acide carbonique : c'est-à-dire qu'elles diminuent le quotient respiratoire, $\frac{CO^2}{O}$, qui répondrait à la réaction initiale génératrice d'alcool, ou plus spécialement à l'oxydation de la stéarine ; tandis qu'elles accroissent au contraire de plus en plus la chaleur dégagée, qui répondrait à la production d'un volume déterminé d'acide carbonique, aux dépens de la stéarine par exemple.

La chaleur dégagée par la fixation de l'oxygène total, qui entre en combinaison avec une proportion convenable de stéarine — celle-ci

étant supposée former du glucose, — sera également accrue; car la réaction (2) (p. 132) produirait seulement 44 Calories pour 32 grammes d'oxygène fixé (O^2), au lieu de 104 Calories.

Pour préciser la signification de ces phénomènes, bornons-nous à la dernière réaction, c'est-à-dire aux transformations successives qui amèneraient la stéarine à l'état d'acide oxalique, en passant d'abord par l'état de glucose, puis d'alcool. On aurait ainsi, en définitive,

$$(6)\quad C^{57}H^{110}O^6 + 72O^2 = 19CO^2 + 19C^2H^2O^4 + 36H^2O,$$

avec un dégagement de 8 Calories, pour 1 gramme de stéarine. Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ en volume de l'acide carbonique à l'oxygène est alors $\frac{19}{72} = 0{,}26$.

La chaleur dégagée dans la formation d'une molécule d'acide carbonique monte ici à 382 Calories, soit $8^{Cal},7$ pour 1 gramme : valeur deux fois et demie aussi considérable que celle de la même formation dans une combustion totale.

Au contraire, pour la fixation d'une seule molécule d'oxygène, O^2, on a . . + 101 Cal. soit pour 1 gramme d'oxygène . . + $3^{Cal},16$ valeurs peu éloignées de celles qui répondent à une combustion totale.

5. J'ajouterai, comme dernier éclaircissement, que la fixation d'une même dose d'oxygène sur un composé organique quelconque peut produire, soit l'acide oxalique, soit les acides formique et carbonique. Or, la chaleur dégagée par ces deux réactions est presque la même. Mais il n'en est pas de même du quotient respiratoire, $\frac{CO^2}{O}$, lequel est égal à zéro, lors de la formation de l'acide oxalique; et à 0,40, lors de la formation de l'acide formique : toujours au moyen de l'alcool.

On voit à quelles erreurs pourrait conduire l'estimation de la thermogenèse, locale ou générale, d'après la détermination unique du quotient respiratoire, $\frac{CO^2}{O}$.

6. Je viens d'examiner l'hypothèse d'après laquelle la stéarine se changerait, pour tout ou partie, en glucose par oxydation, phénomène admis *a priori* par divers physiologistes. Hâtons nous d'ajouter que, suivant les probabilités, cette métamorphose, loin de pouvoir être supposée totale, répondrait seulement à la dose de glycérine régénérable aux dépens de la stéarine; c'est-à-dire qu'elle ne consommerait pas plus des 5 centièmes du poids du carbone de ce dernier principe, d'après l'ordre des réactions et des faits actuellement connus des chimistes.

En définitive, on réaliserait ainsi le changement en sucre du dixième du poids d'un corps gras neutre, susceptible de fournir les éléments de la glycérine : changement que j'ai constaté d'une façon positive en 1857 (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. L, p. 369), dans certaines conditions de fermentation de la glycérine : Mais il ne se rattache pas à l'oxydation des acides gras eux-mêmes.

Loin d'expliquer la formation des sucres par une oxydation des corps gras, ce sont, au contraire, d'après les réactions connues des chimistes, les corps gras qui prennent naissance aux dépens des sucres : l'acide butyrique par exemple, se forme dans une fermentation bien connue ;

Dans certaines autres, on voit apparaître les alcools gras, C^nH^{2n} + H^2O, générateurs des acides gras par oxydation.

L'acide lévulique, produit normal du dédoublement des sucres par voie purement chimique, se rattache à l'acide oxyvalérique.

Sans doute, *a priori*, je le répète encore, tout est possible. Mais avant d'admettre la réalité d'une réaction qui change les acides gras de la graisse en sucre, les chimistes sont autorisés à en réclamer la démonstration.

III. — PRINCIPES ALBUMINOÏDES

1. L'oxydation des principes albuminoïdes et les conditions physiologiques dans lesquelles elle s'accomplirait, ont donné lieu à toutes sortes de controverses. Je vais examiner cette question.

Est-il vrai d'abord que les albuminoïdes existant au sein de l'économie doivent être mis hors de cause, dans les fixations d'oxygène accomplie pendant les travaux mécaniques des animaux, aussi bien que dans la production de la chaleur animale qui a lieu simultanément ? Je ne connais aucun fait bien constaté qui démontre une semblable opinion.

Je n'ignore pas qu'elle a été déduite d'observations, d'après lesquelles un homme ou un animal étant nourri avec des aliments hydrocarbonés, la quantité de l'azote excrétée dans l'urine ne semble pas influencée par son travail musculaire. Mais ceci prouverait seulement que l'action de l'oxygène se porte de préférence sur les matières hydrocarbonées introduites dans l'économie, la dose de l'urée et autres produits excrémentitiels qui prennent naissance simultanément étant maintenue à peu près constante par un mécanisme régulateur. On a cependant reconnu que, s'il y a excès de travail muscu-

laire, la dose même de ces derniers produits peut s'accroître notablement. On sait en outre, dans les cas de fatigue considérable, l'élimination des principes azotés par l'urine n'a pas lieu immédiatement : mais elle se poursuit pendant plusieurs jours, jusqu'au retour à l'état d'entretien normal.

A fortiori doit-on écarter comme peu démonstratives les expériences faites sur un organe isolé, envisagé tour à tour à l'état de travail, ou à l'état de repos : tel qu'un muscle, incessamment traversé par un courant de sang, dans lequel on s'efforce de doser à l'entrée et à la sortie l'oxygène et l'acide carbonique qui y sont dissous même en y joignant le glucose. Le quotient respiratoire ainsi observé a fourni des anomalies très fortes, qui montrent l'incertitude des hypothèses mises en avant. En tout cas, pour que ces analyses fussent concluantes, il faudrait établir que les autres principes immédiats, spécialement les matières grasses et les matières azotées, contenues tant dans le muscle que dans la masse énorme du sang qui l'a traversé, n'ont éprouvé aucun changement dans leur composition ou dans leur proportion, à la fois au sein du sang et du muscle. Ce n'est qu'à cette condition que l'on peut établir des raison-

nements concluants, d'après l'identité de l'état initial et de l'état final : mais c'est là une preuve extrêmement difficile et qui n'a pas été faite.

Je ne veux pas entrer plus avant dans cette discussion de phénomènes physiologistes obscurs et dont l'explication comporte des hypothèses multiples. Je préfère me renfermer dans le domaine des phénomènes purement chimiques et thermochimiques.

En fait, il est établi que les albuminoïdes, tout en éprouvant divers dédoublements et réactions, mal connues d'ailleurs, subissent des oxydations graduelles, dans l'accomplissement de la plupart des actes de l'économie et qu'ils aboutissent par là à la formation de composés incomplètement brûlés, tels que les corps de la série urique et l'urée. Or ces derniers sont nécessairement des produits d'oxydation directe ou indirecte. Je veux dire que les albuminoïdes peuvent être :

Soit oxydés en bloc, puis dédoublés par hydratation en de nouveaux principes, susceptibles à leur tour d'oxydations ultérieures ;

Soit dédoublés d'abord par hydratation, en principes ensuite oxydables individuellement ;

Soit dédoublés et oxydés, dans la même réaction et d'un seul coup.

Dans tous les cas, l'azote du composé initial demeure ainsi uni à peu près en totalité avec une portion du carbone primitif et de l'oxygène fixé, sous la forme de produits successifs, et finalement d'urée et corps congénères.

Soit donc une oxydation finale, aboutissant, bien entendu, à l'urée, et admettons que l'urine d'un homme soumis à une alimentation mixte élimine en vingt-quatre heures 15 grammes à 16 grammes d'azote sous cette forme. Cette élimination représente la destruction de 100 grammes environ de principes albuminoïdes (secs); ces principes étant empruntés, soit aux aliments directement, soit aux matériaux usés de l'économie, que ces aliments viennent reconstituer. Le poids d'albuminoïdes envisagé prendra à l'air extérieur, dans ces conditions d'oxydation: 157 grammesd'oxygène, en éliminant 166 grammes d'acide carbonique.

Or, l'acide carbonique produit renfermant seulement 114 grammes d'oxygène, il y a en réalité 43 grammes d'oxygène fixés au sein de l'organisme, dans ces conditions d'oxydation supposée complète avec urée; en admettant, bien entendu, qu'il n'y ait pas excrétion d'urée.

Malgré cette fixation, il y aurait, en définitive, une perte de poids de 166 — 157; c'est-à-dire

de 9 grammes par jour, soit $0^{gr},6$ environ par heure. Ceci suppose, je le répète, une oxydation complète, avec urée, et dégagement de 460 Calories environ.

Mais, si l'on fait intervenir la production de l'acide urique, celle de l'acide hippurique et celle des produits azotés, ou non, d'une oxydation moins avancée des albuminoïdes, il sera facile de construire *a priori* des équations, en vertu desquelles ces produits, joints à l'eau retenue dans le corps humain, représenteraient un accroissement de poids correspondant à la fixation momentanée de 20 grammes, ou même de 40 grammes d'oxygène; cette fixation s'appliquant au poids considérable qui répond à l'ensemble des principes albuminoïdes constitutifs du corps humain.

2. Tâchons de préciser davantage. Ce qui fait la difficulté de ce genre d'études, c'est l'ignorance où nous sommes de la nature des produits intermédiaires de transformation des albuminoïdes dans l'économie. On peut admettre qu'il s'y forme, au début des oxydations :

Soit des composés de l'ordre des oxyprotéine sulfonée et peroxyproteine de Maly;

Soit des dérivés par dédoublement, tels que

les glucoprotéines, les leucéines et autres corps étudiés avec tant de persévérance par Schützenberger ;

Tous ces corps étant susceptibles d'une oxydation ultérieure, ou simultanée avec le dédoublement même.

C'est dans cet ordre de composés qu'il conviendrait, à mon avis, de rechercher l'une des sources des fixations temporaires d'oxygène sur l'organisme humain, telles qu'elles ont été observées récemment dans certaines conditions ;

J'ajouterai encore l'origine de la formation du glucose et du glycogène dans l'économie ;

Peut-être même, l'origine de la formation des graisses, en y faisant concourir conjointement les hydrates de carbone et les corps gras venus des aliments.

Pour nous borner aux fixations d'oxygène, on doit remarquer que la production de l'oxyprotéine résulte de l'addition de 3 centièmes d'oxygène aux éléments de l'albumine, et celle de l'acide peroxyprotéique résulte de l'addition de 14 centièmes d'oxygène. Pour 40 grammes d'oxygène fixé sur le corps humain, à l'état d'oxyprotéine, cela ferait 1 200 grammes d'albuminoïde, oxydé partiellement ;

Si c'était à l'état de peroxyprotéine, 300 grammes seulement.

Il n'est pas nécessaire de supposer, d'après les équations de transformation admises, une production d'acide carbonique. Or ces poids représentent, après tout, des fractions peu considérables du poids total des principes albuminoïdes contenus dans le corps humain, principes mis en contact avec le sang par la circulation, pendant une heure.

3. *Formation probable du glucose par les principes albuminoïdes.* — Le moment est venu d'envisager un autre côté de la question. En général, la plupart des chimistes physiologistes ont regardé la production du glucose et des hydrates de carbone dans l'économie comme exécutée au moyen des principes albuminoïdes. Cette opinion repose sur l'existence, parmi les tissus animaux, de divers principes, tels que la chondrine, la chitine et la tunicine, qui constituent des intermédiaires connus entre l'albumine et les hydrates de carbone : opinion fondée sur leur composition, leurs propriétés, et spécialement sur leur aptitude à fournir des glucoses, sous l'influence de réactifs purement chimiques. La chitine notamment répondrait à peu près,

d'après sa composition centésimale, à une combinaison d'albumine et de glucose à poids égaux : relation que j'indique d'ailleurs à titre purement empirique et pour préciser les idées. En effet, on a :

Albumine.	C = 52,5;	H = 6,5;	Az = 16,5;	O = 24,5
Glucose .	C = 40,0;	H = 6,7;	Az = 0	O = 53,3
Moyenne .	C = 46,25;	H = 6,6;	Az = 8,2;	O = 38,9
Chitine. .	C = 46,8;	H = 6,8;	Az = 7,8;	O = 38,6

Or, voici la chaleur de combustion d'un gramme de matière, suivant mes expériences :

Albumine	$57^{Cal},67$
Glucose	37, 62
Moyenne	$47^{Cal},64$
Chitine	46, 65

D'après ces faits avérés, on ne saurait contester que l'opinion qui dérive le glucose animal des composés albuminoïdes ne soit plus vraisemblable que celle qui dériverait ce principe de la stéarine ou des corps gras : je dis des corps gras acides envisagés en soi, c'est-à-dire indépendamment de la glycérine qui peut être unie à ces acides gras dans les glycérides naturels.

L'équation véritable qui rattache, au sein de l'économie animale, le glucose à l'albumine, ou

plus exactement à la famille des albuminoïdes, n'étant pas exactement connue, nous nous bornerons, comme pour la stéarine et de même pour préciser les idées, à montrer par le calcul comment l'albumine, prise pour type des albuminoïdes, serait susceptible d'être changée en glucose par un phénomène d'oxydation. Mais il convient auparavant de chercher ce que deviendrait l'azote des albuminoïdes, lors de cette transformation.

4. *Existence de l'azote dans les albuminoïdes et conditions de son élimination.* — Ici se présente une observation fondamentale pour la thermogenèse, aussi bien que pour la détermination du rapport entre l'acide carbonique produit et l'oxygène consommé. En effet, l'albumine renferme un quatrième élément, l'azote, qui n'existe ni dans le glucose, ni dans les corps gras. Or l'azote, au sein de l'économie animale ou végétale, ne devient libre que sous l'influence de conditions exceptionnelles. En général, il est éliminé sous la forme de composés qui dérivent de l'ammoniaque, tels que les composés amidés directs, ou les composés alcalamidés, c'est-à-dire les dérivés amidés d'ordre supérieur. Le principal de ces composés excrétés n'est autre que l'urée,

amide de l'acide carbonique ; en d'autres termes, l'urée diffère du carbonate d'ammoniaque par les éléments de l'eau, c'est-à-dire qu'elle résulte d'une *oxydation qui n'atteint pas l'ammoniaque génératrice des amides.*

Les acides urique, hippurique et autres composés azotés susceptibles d'être éliminés, sont également des amides ou alcalamides, dont la formation dans l'économie donne lieu à la même remarque fondamentale. Leur proportion relative étant fort inférieure à celle de l'urée, au moins dans l'économie humaine, nous les négligerons dans une première approximation. Il serait facile d'ailleurs d'en tenir compte, en suivant la même marche : ce qui serait même nécessaire si nous envisagions les phénomènes thermochimiques, soit chez les oiseaux et les reptiles, qui secrètent l'acide urique en proportion considérable ; soit même chez les herbivores, dont l'urine est sèche en acide hippurique. Il convient également, chez l'homme, d'envisager la sécrétion de l'acide urique, dans les conditions de fatigue ou de cas pathologiques, celui des goutteux, par exemple.

Ajoutons que l'albumine elle-même appartient à la classe des amides ou alcalamides, c'est-à-dire des composés résultant de l'union succes-

sive de l'ammoniaque avec certains principes oxygénés, par simple élimination de l'eau.

Ainsi l'azote contenu dans l'économie s'y trouve entièrement, ou presque entièrement, sous la forme de dérivés ammoniacaux, et les produits excrétés, à la suite de combustions ou d'hydratations, conservent le même caractère.

C'est donc employer une expression peu correcte que de parler d'*azote oxydé* dans l'économie, comme on le fait quelquefois : ce qui s'oxyde, c'est le carbone et l'hydrogène excédant, constitutifs des composés amidés et alcalamidés; l'apparition de l'azote libre dans les produits éliminés par les animaux supérieurs étant exceptionnelle. Or, les azotates et azotites libres n'ont été observés que parmi les produits de certains organismes végétaux, et même parmi ceux des végétaux inférieurs, assimilables aux générateurs de ferments; à l'exception pourtant de quelques plantes spéciales, susceptibles de les fabriquer, telles que les Amarantacées.

Il résulte de ces observations que l'acide carbonique libre, dégagé dans l'économie par l'oxydation de l'albumine, ne saurait dépasser les $\frac{7}{8}$ de celui que produirait la combustion totale de ce principe; $\frac{1}{8}$ environ étant éliminé sous forme d'urée. L'excrétion des acides urique, hip-

purique, etc., répond à une dose relative d'acide carbonique bien moins considérable.

5. *Chaleur dégagée par les phénomènes d'hydratation des composés azotés.* — Mais si l'azote ne s'oxyde pas dans l'économie, il n'en est pas moins certain que les composés qu'il forme éprouvent des transformations spéciales par hydratation, transformations susceptibles de jouer un rôle essentiel dans la thermogenèse.

Les composés de l'ordre des nitriles sont surtout remarquables à ce point de vue. En effet, lorsque le nitrile d'un acide bibasique, par exemple, fixe 4 molécules d'eau pour constituer un sel biammoniacal, il dégage une quantité de chaleur voisine de 40 Calories (1); la majeure partie de cette chaleur résultant de la fixation de $2H^2O$, qui le change en amide proprement dit. Ce n'est pas là une quantité négligeable, car elle est égale aux $\frac{2}{5}$ environ de la chaleur dégagée par la fixation d'une molécule d'oxygène, O^2, dans la combustion totale de la stéarine ou de l'albumine. Or elle est produite tout entière par des réactions intérieures au système, sans dégagement ni absorption gazeux.

(1) *Thermochimie : données et lois numériques*, t. I, p. 687.

6. *Équations de formation du glucose par l'albumine.* — Ces faits étant rappelés, calculons les équations en vertu desquelles le glucose pourrait prendre naissance aux dépens de l'albumine, sans supposer d'autres produits que l'urée, l'eau et l'acide carbonique. Nous choisirons comme point de départ la composition centésimale de l'albumine, à défaut d'une formule certaine, et nous négligerons le soufre pour simplifier. Admettons que 100 parties d'albumine renferment :

$$C = 52{,}5; \quad H = 6{,}5; \quad Az = 16{,}5; \quad O = 24{,}5.$$

Soient : 100 le poids de l'albumine, y celui de l'oxygène qui la brûle, z celui du glucose ($C^6H^{12}O^6$), u celui de l'urée (CH^4Az^2O), v le poids de l'eau et w celui de l'acide carbonique ; en supposant que le glucose résulte d'une combustion, x, y, z, u, w sont positifs ou nuls ; v positif ou négatif. On sait, d'ailleurs, que

100 p. de glucose renferment	C = 40,00 ;	)
// //	H = 6,66 ;	(
// //	O = 53,34 ;	(
// //	Az = 0.	)
100 p. d'eau renferment	C = 0 ;	)
// //	H = 11,11 ;	(
// //	O = 88,89 ;	(
// //	Az = 0.	)

100 p. d'urée renferment.	C = 20,00;	
// //	H = 6,66;	
// //	O = 26,67;	
// //	Az = 46,67.	
100 p. d'acide carbonique renferment .	C = 27,27;	
// // // .	H = 0;	
// // // .	O = 72,73;	
// // // .	Az = 0.	

On a, dès lors, les équations suivantes :

Carbone :

$$52{,}5 = 0{,}40z + 0{,}20u + 0{,}2727w;$$

Hydrogène :

$$6{,}5 = 0{,}0666z + 0{,}0666u + 0{,}1111v;$$

Oxygène :

$$24{,}5 + y = 0{,}5334z + 0{,}2667u + 0{,}8889v + 0{,}7273w;$$

Azote :

$$16{,}5 = 0{,}4667u.$$

On obtient d'abord le poids de l'urée : $u = 35{,}4$.

Restent quatre inconnues et trois équations. Résolvons celles-ci pour les deux cas limites : transformation totale en glucose et urée,

$$w = 0;$$

transformation totale en acide carbonique et urée,

$$z = 0.$$

[1] 100 albumine + 139,2 oxygène = 35,4 urée + 37,3 eau + 166,5 acide carbonique,

[2] 100 albumine + 18 oxygène + 30,9 eau = 35,4 urée + 113,5 glucose

Si l'on suppose le poids du glucose formé égal à p, c'est-à-dire quelconque, l'équation suivante représente une transformation quelconque d'albumine en glucose, urée et acide carbonique

$$[3] \qquad \frac{p}{1,136}\,[2] + \frac{1,136 - p}{1,136}\,[1].$$

7. *Chaleur dégagée et rapport en volume :* $\frac{CO^2}{O}$. — D'après l'équation [1], 1 gramme d'albumine dégage $4^{Cal},6$ environ ; l'urée demeurant dissoute.

D'après l'équation [2], on aurait pour 1 gramme d'albumine, $0^{Cal},3$; l'urée et le glucose dissous.

L'équation [3] donnera une valeur intermédiaire.

La chaleur dégagée pour 1 gramme d'oxygène absorbé serait $+ 3^{Cal},3$, d'après [1], et $+ 1^{Cal},6$, d'après [1] ; c'est-à-dire le double pour le premier cas, tandis que la proportion d'oxygène absorbé serait huit fois aussi considérable.

Le rapport en volume, $\frac{CO^2}{O} = 0,70$, d'après [1] ; il serait nul d'après [2].

Ainsi, d'après [3], la chaleur dégagée sera comprise entre $3^{Cal},3$ et $1^{Cal},6$; et le rapport en volume, $\frac{CO^2}{O}$, entre 0,70 et 0.

On remarquera que le premier rapport l'emporte sur celui qui résulterait de la combustion totale de la stéarine et des corps gras, en général. Il deviendrait égal à l'unité, dans la combustion totale du carbone pur, ou des hydrates de carbone. Pour qu'il fût plus grand que l'unité, il faudrait avoir affaire à des composés exceptionnels, tels que l'acide formique $\left(\frac{CO^2}{O} = 2\right)$, ou l'acide oxalique $\left(\frac{CO^2}{O} = 4\right)$.

Le quotient respiratoire peut d'ailleurs être infini, dans le cas des dédoublements où l'acide carbonique prend naissance indépendamment de toute fixation d'oxygène, tel que celui de l'acide oxalique changé en acide formique

$$C^2H^2O^4 = CH^2O^2 + CO^2;$$

ou bien encore la fermentation alcoolique.

Des réactions de cet ordre, coïncidant avec une réaction où l'oxygène est absorbé, peuvent évidemment donner lieu à une valeur quelconque du rapport en volume, $\frac{CO^2}{O}$, ainsi qu'à une relation quelconque entre la chaleur dégagée et le volume de l'oxygène absorbé; ou bien encore entre la chaleur dégagée et le volume de l'acide carbonique produit (voir p. 145).

8. Ces développements suffisent pour caractériser la méthode de calcul et les limites des phénomènes. Les réactions réelles sont, en général, intermédiaires ; mais, pour les préciser davantage, il faudrait connaître les produits véritables des oxydations et dédoublements des corps gras et des albuminoïdes, dans des conditions physiologiques données. Jusque-là toute conclusion plus particulière, relative à la nutrition ou à la chaleur animale, risque d'être prématurée. Alors même que les réactions spéciales seraient mieux connues, il est encore quelques points sur lesquels je crois essentiel de fixer l'attention.

9. En premier lieu, c'est la forme sous laquelle l'oxygène intervient dans l'intérieur du corps de l'homme et des animaux supérieurs. Cet oxygène, en effet, n'est pas libre, mais combiné avec l'hémoglobine dans le liquide sanguin, combinaison qui dégage, d'après mes expériences, $+ 15^{Cal},2$ par molécule ($O^2 = 32$ grammes) ; c'est-à-dire le septième environ de la chaleur produite par le même poids d'oxygène, lors de la combustion totale de la stéarine, ou de l'albumine. On devra donc retrancher cette quantité de chaleur de celle qui est réellement dégagée, lors des oxydations accomplies au sein des organes eux-mêmes.

10. En second lieu, l'acide carbonique suscite une remarque inverse. En effet, une réaction locale étant produite au sein d'un organe déterminé, l'acide carbonique qu'elle engendre, avec une certaine production de chaleur, demeure souvent dissout pendant la courte durée du passage du sang à travers cet organe ; sa chaleur de dissolution s'ajoutant à la chaleur développée par la réaction qui l'engendre. Cependant, l'acide carbonique est entraîné plus loin et son dégagement a lieu ailleurs, d'ordinaire dans les poumons : de telle sorte que le rapport en volume, $\frac{CO^2}{O}$, mesuré soit sur le lieu de l'absorption de l'oxygène, soit sur le lieu du dégagement de l'acide carbonique libre (ou déjà combiné avec l'hémoglobine), ne répond, ni sur l'un ni sur l'autre de ces points, à la réaction effective qui s'y accomplit.

11. Une observation pareille est applicable à la grandeur de la chaleur développée ; tout en admettant comme incontestable que le fait même d'une élévation locale de température répond en général à une réaction spéciale accomplie sur ce point. Et encore faudrait-il faire ici certaines réserves ; particulièrement dans le cas où un principe déjà formé à l'état dissous, acquiert en un

lieu donné l'état solide, ou bien inversement. De même, dans le cas des gaz formés à l'état dissous et qui se dégageraient dans l'intérieur des organes, de l'intestin en particulier.

Enfin, on ne doit jamais oublier que la masse du sang, entraînée par le rapide courant circulatoire, absorbe et transporte à mesure dans toute l'économie la majeure partie de la chaleur dégagée.

En raison de ces faits, aussi bien que des exemples numériques présentés plus haut, on conçoit combien pourrait être décevant tout raisonnement physiologique ou calorifique, fondé uniquement sur la mesure du rapport en volume entre l'acide carbonique et l'oxygène consommé en un point particulier de l'économie, ou même dans l'économie tout entière pendant un court intervalle de temps ; j'ajouterai pendant un intervalle quelconque, — si le système entier n'est pas ramené exactement à son état initial. Toute discussion solide, relative à la thermogenèse physiologique ou pathologique, exige dès lors la connaissance exacte de la totalité des changements chimiques et physiques produits, non seulement dans un organe isolé, mais dans l'ensemble de l'organisme ; elle exige, je le répète, la connaissance de l'état du système entier, au

début et à la fin d'un cycle donné de phénomènes. Sans doute, cette nécessité rend extrêmement difficile la solution des problèmes de thermogenèse physiologique ; mais elle résulte de l'unité même de l'évolution vitale de l'organisme, résultante d'un ensemble de cycles particuliers. Quoi qu'on fasse ou prétende à cet égard, on ne saurait se soustraire à cette condition fondamentale.

TABLE DES MATIÈRES

		Pages
PRÉFACE		v
CHAP. I.	*Chaleur des Êtres vivants. Principes chimiques généraux* . . .	1
CHAP. II.	*Chaleur dégagée par l'action de l'oxygène libre sur le sang.* . .	72
CHAP. III.	*Chaleur de formation et de combustion de l'urée et de l'acide cyanique*	110
CHAP. IV.	*Glucogenèse et thermogenèse dans l'Économie.*	127

Saint-Amand, Cher. — Imp. BUSSIÈRE frères.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

ŒUVRES DE M. BERTHELOT

OUVRAGES GÉNÉRAUX

La Synthèse chimique, 8e édition, 1897, in-8°. Chez Félix Alcan.

Essai de Mécanique chimique, 1879; 2 forts volumes in-8°. Chez Dunod.

Sur la force des matières explosives d'après la thermochimie, 3e édition, 1883; 2 volumes in-8°. Chez Gauthier-Villars.

Traité pratique de Calorimétrie chimique, in-18, 1893. Chez Gauthier-Villars et G. Masson.

Thermochimie : Données et lois numériques, 1898, 3 volumes in-8°. Chez Gauthier-Villars.

Traité élémentaire de Chimie organique, en commun avec M. Jungfleisch, 4e édition, 1899; 2 volumes in-8°. Chez Dunod.

Science et Philosophie, 1886, in-8°. Chez Calmann Lévy.

Les Origines de l'Alchimie, 1885, in-8°. Chez Steinheil.

Collection des anciens Alchimistes grecs, texte et traduction, avec la collaboration de M. Ch.-Em. Ruelle, 1887-1888 : 3 volumes in-4°. Chez Steinheil.

Introduction à l'étude de la Chimie des Anciens et du moyen-âge, 1889, in-4°. Chez Steinheil.

La Révolution chimique, Lavoisier, 1890, in-8°. Chez Félix Alcan.

Histoire des Sciences : La Chimie au moyen-âge, 3 volumes in-4°, 1893; chez Leroux : *Transmission de la science antique; L'Alchimie syriaque; L'Alchimie arabe.*

Science et Morale, in-8°, 1897. Chez Calmann Lévy.

Renan et Berthelot : Correspondance, in-8°, 1898. Chez Calmann Lévy.

LEÇONS PROFESSÉES AU COLLÈGE DE FRANCE

Leçons sur les méthodes générales de Synthèse en Chimie organique, professées en 1864, in-8°. Chez Gauthier Villars.

Leçons sur la thermochimie, professées en 1865. Publiées dans la *Revue des Cours scientifiques*. Chez Germer-Baillière.

Même sujet, en 1880. *Revue scientifique*. Chez Germer-Baillière.

Leçons sur la Synthèse organique et la thermochimie, professées en 1881-1882. *Revue scientifique*. Chez Germer-Baillière.

OUVRAGES ÉPUISÉS

Chimie organique fondée sur la synthèse, 1860; 2 forts volumes in-8°. Chez Mallet-Bachelier.

Leçons sur les principes sucrés, professées devant la Société chimique de Paris en 1862, in-8°. Chez Hachette.

***Leçons* sur l'isomérie**, professées devant la Société chimique de Paris en 1863, in-8°. Chez Hachette.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

CHALEUR ANIMALE

PRINCIPES CHIMIQUES

DE LA

PRODUCTION DE LA CHALEUR

CHEZ LES ÊTRES VIVANTS

II

DONNÉES NUMÉRIQUES

PAR

M. BERTHELOT

Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences

PARIS

MASSON et Cie, ÉDITEURS,
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Boulevard Saint-Germain, 120

GAUTHIER-VILLARS,
IMPRIMEUR-ÉDITEUR
Quai des Grands-Augustins, 55

(Tous droits réservés)

OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE

I. **Traité pratique de Calorimétrie chimique.**

II. **Chaleur Animale. Principes chimiques de la Production de la Chaleur chez les Êtres vivants. Notions générales.**

III. **Chaleur Animale. Principes chimiques de la Production de la Chaleur chez les Êtres vivants. Données numériques.**

LIVRE SECOND

—

CHAPITRE PREMIER

—

CHALEUR DE COMBUSTION DU CARBONE SOUS SES DIFFÉRENTS ÉTATS DIAMANT, GRAPHITE, CARBONE AMORPHE

Les chapitres qui vont suivre sont consacrés aux données numériques fondamentales sur lesquelles repose la thermochimie des êtres vivants, celle de l'homme et des animaux supérieurs en particulier.

En voici l'objet :

Chapitre Ier : Chaleur de combustion du carbone sous ses différents états (1).

(1) En commun avec M. Petit.

Chapitre II : Chaleur de combustion et de formation des composés minéraux et des composés carbonés binaires et ternaires non azotés, susceptibles de servir d'aliments, ou de prendre naissance dans l'économie animale. Hydrates de carbone et corps gras.

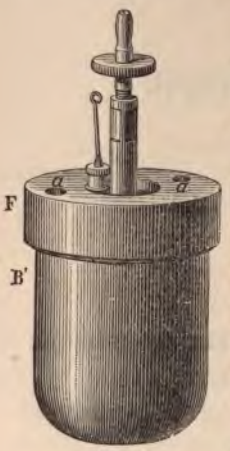


Fig. 1
Bombe calorimétrique.

Chapitre III : Chaleur de combustion et de formation des principes azotés à molécule bien définie, susceptibles d'exister dans l'économie animale et congénères.

Chapitre IV : Chaleur de combustion et de formation des corps albuminoïdes et congénères; leur rôle dans la production de la chaleur animale.

Les données exposées dans ces chapitres ont été déterminées à l'aide de la *bombe calorimétrique*, instrument dont je me borne à reproduire ici les figures. Pour la méthode elle-même et les détails du procédé, je renverrai à mon

Traité pratique de calorimétrie chimique, p. 128 et suivantes (1).

La chaleur de combustion du carbone est l'une des données fondamentales de la Thermochimie; elle l'est par elle-même, et surtout parce que cette chaleur de combustion, jointe à celle de l'hydrogène, permet de calculer les chaleurs de formation des composés organiques depuis les éléments, d'après les principes de calcul développés dans le présent ouvrage. Elle joue un rôle non moins essentiel dans l'évaluation de la chaleur animale.

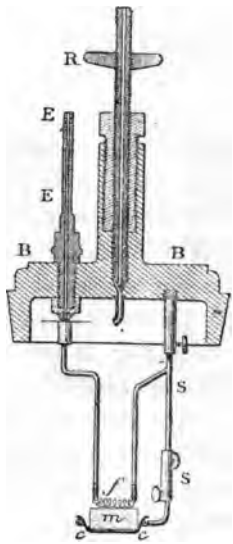


Fig. 2.
Disposition intérieure.

L'existence des états allotropiques multiples du carbone, cristallisés et amorphes, complique ces problèmes, en même temps qu'elle en augmente l'intérêt.

Nous allons donner des mesures précises de la

(1) Chez Gauthier-Villars et Masson.

chaleur de combustion du carbone à l'aide des méthodes nouvelles, fondées sur l'emploi de la bombe calorimétrique.

Nous ne nous reporterons pas jusqu'aux lointains essais de Lavoisier et Laplace, ni jusqu'aux chiffres inexacts de Dulong, qui avaient faussé l'évaluation théorique de la chaleur animale, en raison de la production, non soupçonnée d'abord, d'une certaine dose d'oxyde de carbone, dans la combustion de ce dernier élément. Mais il convient de rappeler les expériences plus correctes de Favre et Silbermann (1), lesquelles ont fait foi jusqu'à ce jour et n'avaient été encore reprises par personne avant nous, à cause de la grande difficulté de ce genre de déterminations. Cependant, ces expériences présentent de grandes imperfections. Dans leur exécution, en effet, la formation d'une proportion variable d'oxyde de carbone renfermant de 2 à 35 centièmes du carbone total, la lenteur des combustions, qui duraient jusqu'à quarante-huit minutes, enfin la nécessité de pesées multiples et d'une combustion complémentaire, ont rendu les mesures calorimétriques de ces auteurs extrêmement pénibles : ces circonstances jetaient sur leurs résultats une incertitude

(1) *Ibid.*, 3e série, t. XXXIV, p. 411.

qu'il nous a paru nécessaire d'écarter. La chose est d'autant plus utile qu'il s'agit d'une valeur capitale pour les études purement chimiques, relatives aux composés carbonés, aussi bien que pour les évaluations concernant la chaleur animale. En effet, la chaleur de formation des composés organiques est la différence entre la chaleur de combustion de leurs éléments combustibles, carbone et hydrogène, et celle de la chaleur de combustion du composé.

Or, la chaleur de combustion de l'hydrogène, donnant naissance à une molécule (18 grammes) d'eau, peut être regardée comme fixée à $+69^{Cal},0$; d'après la moyenne des expressions faites par un grand nombre d'observateurs (*Thermochimie : Données et lois numériques*; t. II, p. 45); mais la chaleur de combustion du carbone, sous ses différentes formes, n'avait pas été reprise. Voici nos résultats.

En raison de la grande importance du sujet, je donnerai tous les détails des mesures pour trois cas particuliers.

I. CARBONE AMORPHE TIRÉ DU CHARBON DE BOIS

Commençons par le *carbone amorphe*. Nous l'avons préparé avec du charbon de bois, convenablement divisé, et traité successivement par l'acide chlorhydrique bouillant, par l'acide fluorhydrique, par le chlore au rouge blanc, puis calciné dans le four Perrot. Le produit final (séché à 130°) était exempt d'hydrogène ; il renfermait, sur 100 parties : 99,34 de carbone pur et 0,66 de cendres (évaluées par des pesées distinctes).

Voici les analyses :

I. — $0^{gr},3024$ de charbon ont été desséchés à 130°, pesés dans un tube qui avait été chauffé simultanément dans l'étuve, puis bouché ensuite et ce charbon a été brûlé aussitôt, sans avoir été exposé à l'air libre à la température ordinaire même pendant un instant (afin d'éviter toute absorption d'humidité). Ce poids fourni :

CO^2	$1^{gr},1011$
soit	
C	0, 3003
Cendres.	0, 0020
	0, 3023

II. — $0^{gr},3085$ du même corps ont fourni :

CO^2	$1^{gr},1244$

soit

C	0, 3066
Cendres.	0, 0020
	0, 3826

Cela fait en centièmes :

C	$99^{gr},30$	$99^{gr},38$
Cendres	0, 66	0, 65
	99, 96	100, 03

Un tel charbon, si on le laisse refroidir au contact de l'air libre, attire l'humidité atmosphérique avec une promptitude extraordinaire. Il a suffi de le transporter à découvert, de la balance dans le tube à combustion, pour qu'il ait fixé ainsi, dans deux essais : 3,2 et 2,9 centièmes d'eau. Cette eau, si l'on n'y prenait garde, ferait croire à la présence de l'hydrogène dans le charbon. Elle se reconnaît d'ailleurs aisément à deux circonstances :

1° Un échantillon de charbon, séché à 130° et pesé dans un tube bien clos, puis exposé à l'air, fournit ensuite à l'analyse un poids supérieur à celui du charbon réel. En outre, le poids de l'eau récoltée dans l'analyse, par le tube à ponce

sulfurique, est précisément égal au poids de l'eau qu'a fixée le même charbon, refroidi en vase clos, puis laissé au contact de l'air; lequel poids d'eau peut être mesuré directement;

2° Si l'on pèse, au contraire, le charbon au contact de l'air, sans précaution spéciale, le poids de l'eau recueillie dans le tube à ponce sulfurique, pendant la combustion, est précisément égal à l'excès du poids du charbon analysé sur les poids réunis du carbone réel et des cendres trouvés par l'analyse. Ce dernier caractère appartient d'ailleurs aussi aux hydrates de carbone. Mais le charbon calciné ne le présente pas en général.

La combustion du charbon purifié, dans la bombe calorimétrique, au sein de l'oxygène comprimé à 25 atmosphères, s'effectue sans difficulté : elle est totale et instantanée. La mesure calorimétrique proprement dite ne dure que quatre minutes.

Nous avons exécuté 6 déterminations. Voici le détail de ces déterminations :

Combustion du charbon purifié.

Séché à 120-130° jusqu'à poids constant; pesé dans un tube bouché, qu'on a laissé refroidir sous cloche, au-dessus d'un vase renfermant de l'acide sulfurique concentré.

I.

$0^{gr},437$ charbon brut ; cendres $= 0^{gr},0028$ (0,66 %).
Carbone réel $= 0^{gr},4342$.

Période préliminaire.

0 minute .	17°,360	3 minutes.	17°,360
1 // .	17, 360	4 // .	17, 360
2 // .	17, 360		

Combustion.

5 minutes.	18, 600+	7 minutes.	18, 820+
6 // .	18, 782+	8 // .	18, 818+

Période postérieure.

9 minutes.	18°,810	12 minules.	18°,785
10 // .	18, 802	13 // .	18, 775
11 // .	18, 795	14 // .	18, 770

Refroidissement initial par minute :

$$\Delta t_0 = 0,000.$$

Refroidissement final, par minute :

$$\Delta t_n = + 0,008.$$

Correction du refroidissement :

$$\Delta t = + 0,026.$$

Variation de la température non corrigée :

$$\theta = 18°,818 - 17°,360 = 1°,458.$$

Variation de la température corrigée :

$$T = 1^{\circ},484.$$

Valeur en eau du calorimètre (oxygène compris, etc.):

$$M = 2\,398,4.$$

Poids de l'acide azotique formé :

AzO^3H équivaut à $5^{cc},5K^2O$ au $\frac{1}{20}$ d'équivalent

Soit l'acide = $0^{gr}.0173$.

Chaleur totale observée		$q_1 = 3\,559^{cal},2$
Chaleur dégagée par la combustion du fer	$22^{cal},4$	$q_2 = 26,3$
Chaleur dégagée par la formation de AzO^3H étendu .	$3,9$	
Chaleur réelle due à la combustion du carbone		$3\,532,9$
Pour 1 gramme . . .	$\frac{3\,532,2}{0,4342} = 8\,136^{cal},6.$	

II.

Charbon séché pendant 3 heures, à 120-130°.
$0^{gr},9468$ brut; cendres = $0^{gr},0063$ (0,66 %).
Carbone réel = $0^{gr},9405$.

Période préliminaire.

0 minute. .	17°,720	3 minutes.	17°,713
1 // . .	17, 717	$4\frac{1}{2}$ // .	17, 710
2 // . .	17, 715		

Combustion.

$5\frac{1}{2}$ minutes.	20°,300+	$7\frac{1}{2}$ minutes.	20°,858+
$6\frac{1}{2}$ // .	20, 800+	$8\frac{1}{2}$ // .	20, 850

Période postérieure.

$9\frac{1}{2}$ minutes.	20°,834	$13\frac{1}{2}$ minutes.	20°,770
$10\frac{1}{2}$ // .	20, 820	$14\frac{1}{2}$ // .	20, 750
$11\frac{1}{2}$ // .	20, 800	$15\frac{1}{2}$ // .	20, 738
$12\frac{1}{2}$ // .	20, 785		

$\Delta t_0 = + 0,002$, $\Delta t_n = + 0,016$,

$\Delta t = + 0,055$.

$\theta = 20°,850 - 17°,710 = 3°,140$.

$T = 3°,205$. $M = 2\,398,4$.

AzO^3H équivaut à $13^{cc},4$ K^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},0422$.

Chaleur totale. . . . . $q_1 = 7\,686^{cal},8$

Chaleur de combustion du fer. . . . . $22^{cal},4$

Chaleur due à AzO^3H étendu. $9,6$

$\left.\begin{matrix} \\ \\ \end{matrix}\right\} q_2 = 32,0$

Chaleur réelle due au carbone. . . $q = \overline{7\,654,8}$

Pour 1 gramme. . . $\frac{7\,654,2}{0,9405} = 8\,139^{cal},4$.

III.

Charbon séché 4 heures dans l'étuve, à 120-130°.

$0^{gr},8817$ brut; cendres $= 0^{gr},0059$ (0,66 %).

Carbone réel $= 0^{gr},8758$.

Période préliminaire.

0 minute .	17°.037	3 minutes.	17°,052
1 // .	17, 042	4 // .	17, 057
2 // .	17, 047		

Combustion.

5 minutes.	19°,537+	7 minutes.	20°,000+
6 // .	19, 937+	8 // .	20, 000+

Période postérieure.

9 minutes.	19°,985	14 minutes.	19°,920
10 // .	19, 970	15 // .	19, 915
11 // .	19, 960	16 // .	19, 900
12 // .	19, 947	17 // .	19, 880
13 // .	19, 940		

$$\Delta t_0 = -\,0{,}005, \quad \Delta t_n = +\,0{,}013.$$
$$\Delta t = +\,0{,}041.$$
$$\theta = 20{,}000 - 17{,}057 = 2°{,}943.$$
$$T = 2°{,}984, \quad M = 2\,399{,}8.$$

AzO^3H équivaut à $12^{cc},2$ K^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},0378$.

Chaleur totale.		$q_1 = 7\,160^{cal},3$
Chaleur due au fer. . . .	$22^{cal},4$	$q_2 = 31,\ 0$
Chaleur due à AzO^3H étendu.	$8,\ 6$	
Chaleur réelle due au carbone. . .		$q = 7\,129,\ 3$
Pour 1 gramme. . .		$\frac{7\,129,3}{0,8758} = 8\,140^{cal},6.$

IV.

Charbon séché 3 heures dans l'étuve, à 130°.
$0^{gr},8466$ brut; cendres $= 0^{gr},0056$ (0,66 %).

Carbone réel $= 0^{gr},841$.

Période préliminaire.

0 minute .	16°,480		5 minutes.	16°,500
1 // .	16, 482		6 // .	16, 500
2 // .	16, 485		7 // .	16, 505
3 // .	16, 490		8 // .	16, 508
4 // .	16, 495			

Combustion.

9 minutes.	18°,800+	11 minutes.	19°,343+
10 // .	19, 323+	12 // .	19, 343+

Période postérieure.

13 minutes.	19°,333	16 minutes.	19°,303
14 // .	19, 323	17 // .	19, 288
15 // .	19, 313	18 // .	19, 283

$$\Delta t_0 = -\,0{,}0035, \quad \Delta t_n = +\,0{,}010,$$
$$\Delta t = +\,0{,}028.$$
$$\theta = 19{,}343 - 16{,}508 = 2°{,}835.$$
$$T = 2^{gr},863, \quad M = 2\,399{,}8.$$

AzO^3H équivant à $9^{cc},9$ KK^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},0308$.

Chaleur totale.		$q_1 = 6\,870^{cal},5$
Fer.	$22^{cal},4$	$q_2 = 29.\ 5$
AzO^3H	$7,\ 1$	
Chaleur réelle due au carbone. . .		$q = 6\,841,\ 0$
Pour 1 gramme. . .	$\frac{6.841}{0,841} = 8\,134^{cal},3.$	

V.

Carbone séché 4 heures dans l'étuve, à 130°, $0^{gr},6573$ brut; cendres $= 0^{gr},0044$ (0,66 %).

Carbone réel $= 0^{gr},6529$.

Période préliminaire.

0 minute .	16°,798	3 minutes.	16°,798
1 // .	16, 798	4 // .	16, 798
2 // .	16, 798		

Combustion.

5 minutes.	18°,500+	7 minutes.	19°,880+
6 // .	18, 880+	8 // .	18, 995+

Période postérieure.

9 minutes.	18°,984	12 minutes.	18°,960
10 // .	18, 980	13 // .	18, 950
11 // .	18, 967	14 // .	18, 942

$\Delta t_0 = 0,0$, $\Delta t_n = +\ 0,010$,

$\Delta t = +\ 0,032$.

$\theta = 18^{o},995 - 16,798 = 2^{o},197.$
$T = 2^{o},229, \quad M = 2\,399,8.$

AzO^3H équivaut à $14^{cc},8$ K^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},0466.$

Chaleur totale.	$q_1 =$	$5\,349^{cal},1$
Fer. . . . . $22^{cal},4$ / AzO^3H . . . . . $10,9$	$q_2 =$	$33,1$
Chaleur réelle due au carbone. . .	$q =$	$5\,316,0$
Pour 1 gramme. . . $\frac{5\,316}{0,6529}$	$=$	$8\,141^{cal},8.$

VI.

Charbon séché 5 heures dans l'étuve, à 130°.
$0^{gr},8166$ brut; cendres $= 0^{gr},0053$ (0,66 %).
Carbone réel $= 0^{gr},8113$

Période préliminaire.

0 minute .	$16^{o},960$	4 minutes.	$16^{o},978$
1 // .	16, 993	5 // .	16, 980
2 // .	16, 970	6 // .	16, 984
0 // .	16, 973	7 // .	16, 988

Combustion.

8 minutes.	$19^{o},100+$	10 minutes.	$19^{o},723+$
9 // .	19, 693+	11 // .	19, 717+

Période postérieure.

12 minutes.	19°,703	16 minutes.	19°,663
13 // .	19, 693	17 // .	19, 643
14 // .	19, 683	18 // .	19, 637
15 // .	19, 669	19 // .	19, 626

$$\Delta t_0 = -0{,}004, \quad \Delta t_n = +0{,}0115.$$

$$\Delta t = -0^{\circ},016 + 0^{\circ},051 = +0^{\circ},035.$$

$$\theta = 19{,}717 - 16{,}988 = 2^{\circ},729.$$

$$T = 2^{\circ},764, \quad M = 2\,399{,}8.$$

AxO^3H équivaut à $19^{cc},2$ K^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},0573$.

Chaleur totale.	q_1	$= 6\,633^{cal},0$
Fer. . . . . . $22^{cal},4$	q_2	$= 35,\ 3$
AxO^3H . . . . . $12,\ 9$		
Chaleur réelle due au carbone. . .	q	$= 6\,597,\ 9$

Pour 1 gramme. . . $\frac{6\,597,7}{0{,}8113} = 8\,131^{cal},5$.

En résumé, nous avons trouvé, pour le carbone amorphe, préparé au moyen du charbon de bois :

Expériences	Poids du carbone réel brûlé	Chaleur de combustion rapportée à 1 gr.
I	$0^{gr},8113$	$8\,131^{cal},5$
II	0, 6529	8 141, 8
III	0, 8410	8 134, 3
IV	0, 8758	8 140, 6
V	0, 9405	8 139, 4
VI	0, 4242	8 136, 6
Moyenne.		$8\,137^{cal},4$

Cela fait pour

$C(= 12^{gr}$ carbone amorphe$) + O^2 = CO^2 : + 97^{Cal},65.$

Ce nombre est le même à pression constante et à volume constant.

Fabre et Silbermann avaient trouvé en moyenne :

Pour 1 gramme d'un carbone analogue : 8 080 calories.

Soit pour $C = 12^{gr} : + 96^{Cal},96.$

L'écart avec notre chiffre est de 7 millièmes environ. Étant donnée la complication de leurs mesures, il est surprenant qu'il ne soit pas plus élevé.

II. GRAPHITE CRISTALLISÉ

Nous avons employé du graphite cristallisé, provenant de la fabrication de la fonte de fer, et dont M. Güntz avait eu l'obligeance de nous procurer 1 kilogramme. Il a été purifié par des traitements réitérés au moyen de l'acide chlorhydrique ; puis lavé et séché à l'étuve. Son analyse, dans cet état, a fourni, sur 100 parties :

C.	99.79
Cendres	0,21
Hydrogène	0,02

Par exemple : $0^{gr},7919$ de ce graphite ont fourni

CO^2	$2^{gr},8978$

c'est-à-dire

C	0, 7902
Cendres	0, 0017
Eau	0, 0016

Voici les données des deux expériences préliminaires, faites avec le graphite décrit ci-dessus, avec le concours de la naphtaline destinée à l'allumer, ainsi qu'il sera dit tout à l'heure. Dans la combustion, il a été tenu compte non seulement des cendres, mais des écailles de graphite non brûlées, qui subsistent parfois.

I.

Graphite.

Graphite brut	$0^{gr},8466$
Naphtaline	0, 2085
Graphite réel brûlé . . .	0, 8441

Période préliminaire.

0 minute .		$10^{o},200$	3 minutes.		$10^{o},200$
1	// .	10, 200	4	// .	10, 200
2	// .	10, 200			

Combustion.

5 minutes.		12°,100+	8 minutes.		13°,785+
6 //	.	13, 580+	9 //	.	13, 777+
7 //	.	13, 770+			

Période postérieure.

10 minutes.		13°,700	13 minutes.		13°,710
11 //	.	13, 743	14 //	.	13, 691
12 //	.	13, 725			

$\Delta t_0 = 0{,}00$, $\Delta t_n = +\ 0{,}017$,

$\Delta t = +\ 0{,}0678$.

$\theta = 13°{,}777 - 10{,}200 = 3°{,}577$.

$T = 3°{,}6448$, $M = 2\,398{,}4$.

AzO^3H équivaut à $8^{cc},3$ K^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},0258$.

Chaleur totale . . . . . $q_1 = 8\,742^{cal},0$

// due au fer. . . $22^{cal},4$ ⎫
// à la naphtaline . . . . $2\,022,45$ ⎬ $q_2 = 2\,050,7$
// à l'ac. AzO^3H étendu $5,86$ ⎭

Chaleur réelle due au carbone . . : $q = \overline{6\,191^{cal},3}$

Pour 1 gramme. . . $\frac{6\,691,3}{0,8441} = 7\,929^{cal},1$.

II.

Graphite brut	$0^{gr},7911$
Naphtaline	0, 139
Graphite réel brûlé . . .	0, 7846

Période préliminaire.

0 minute .	10°,590	3 minutes.	10°,590
1 // .	10, 592	4 // .	10, 600
2 // .	10, 595		

Combustion.

5 minutes.	12°,000+	7 minutes.	13°,700+
6 // .	13, 460+	8 // .	13, 720+

Période consécutive.

9 minutes.	13°,709	12 minutes.	13°,678
10 // .	13, 700	13 // .	13, 670
11 // .	13, 685	14 // .	13, 660

$$\Delta t_0 = -0{,}0025, \quad \Delta t_n = +0{,}010,$$

$$\Delta t = -0{,}01 + 0{,}036, \quad \Delta t = +0{,}026.$$

$$\theta = 13°{,}720 - 10{,}600 = 3°{,}120.$$

$$T = 3°{,}146, \quad M = 1\,398{,}4.$$

AzO^3H équivant à 9^{cc} K^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr}{,}0283$.

Chaleur totale. . . . . $q_1 = 7\,545^{cal},3$

// due au fer. . . $22^{cal},4$

// à la naphtaline. . . . $1\,348,3$ } $q_2 = 1\,377,1$

// à l'ac. AzO^3H étendu $6,4$

Chaleur réelle due au carbone. . . $q = \overline{6\,168^{cal},2}$

Pour 1 gramme. . . $\frac{6\,168,2}{0,7846} = 7\,863^{cal},2$.

D'après ces deux mesures, la combustion de ce graphite a fourni, pour 1 gramme de carbone réel (2 expériences) : $7\,894^{cal},4$.

Les combustions calorimétriques ont été exécutées avec le concours d'un poids auxiliaire de naphtaline, destiné à en produire l'inflammation.

En effet, comme la petite spirale de fer incandescente ne suffisait pas pour enflammer le graphite, nous avons dû le mélanger avec un corps plus aisément combustible : nous avons choisi la naphtaline, composé dont la chaleur de combustion, déterminée par la même méthode dans quatre séries d'expériences, faites par trois groupes d'opérateurs différents et avec trois instruments distincts, peut être regardée comme connue avec une très grande exactitude (1). Pour 1 gramme, elle s'élève à $9\,692^{cal},1$ à volume constant. Le poids de ce combustible auxiliaire a varié du tiers au cinquième de celui du graphite.

Dans ce but, après avoir pesé le graphite sur la lame de platine percée de petits trous et emboutie, qui lui sert de support pendant la combustion, on y ajoute un peu de naphtaline : on chauffe légèrement pour la fondre et la répartir dans la masse du graphite, auquel elle forme

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XIII, p. 303 et 306.

enduit. On pèse de nouveau, après refroidissement, pour avoir le poids exact de la naphtaline additionnelle. Puis on procède à la combustion.

Celle-ci ne brûle pas toujours complètement le graphite ; il en reste parfois des écailles, représentant quelques milligrammes au plus, que l'on pèse avec soin après la combustion. La lame de platine doit ensuite reproduire un poids identique au poids initial : ce que l'on a pris soin de vérifier très exactement après chaque combustion. Parfois, cette lame retient à sa surface quelques petits globules de fer magnétique, qu'il convient de détacher, avant de faire cette vérification.

Le graphite précédent semblant conserver encore un peu d'hydrogène, nous avons cru utile, pour plus d'exactitude, de le chauffer au rouge un instant en présence de l'air : ce qui l'a débarrassé, en effet, de la trace d'hydrogène qu'il retenait jusque-là ; une sorte de pétillement de la matière en accompagne le départ. Le graphite purifié a été ensuite brûlé dans la bombe calorimétrique, toujours avec le concours de la naphtaline.

Voici le détail de ces déterminations :

I.

Graphite.

Naphtaline. . . . . $0^{gr},2651$
Graphite réel brûlé . . . 0, 9716

Période préliminaire.

0 minute .	10°,265	2 minutes.	10°,265
1 // .	10, 265	3 // .	10, 265

Combustion.

4 minutes.	10°,265+	7 minutes.	14°,460+
5 // .	12, 250+	8 // .	14, 505+
6 // .	14, 180+		

Période consécutive.

9 minutes.	14°,487	12 minutes.	14°,425
10 // .	14, 465	13 // .	14, 405
11 // .	14, 445		

$$\Delta t_0 = 0, \quad \Delta t_n = + 0{,}020,$$
$$\Delta t = + 0{,}058.$$
$$\theta = 14°{,}505 - 10°{,}265 = 4°{,}240.$$
$$T = 4°{,}298, \quad M = 2\,398{,}4.$$

AzO^3H équivaut à 7^{cc} K^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},022$.

Chaleur totale. . . . . $q_1 = 10284^{Cal},7$

Fer. . . . . $22^{cal},4$
Naphtaline 2571, 5
AzO^3H étendu. 5
} $q_2 = 2598, 9$

Chaleur réelle due au carbone . . . $q = 7685^{Cal},8$

Pour 1 gramme. . . $\frac{7685,8}{0,9716} = 9710^{cal},4.$

II.

$0^{gr},4882$ graphite.
0, 0918 naphtaline.
Pas de résidu de graphite après la combustion.
Cendres, 0,21 $^0/_0$.
Graphite réel brûlé = $0^{gr},4872$.

Période préliminaire.

0 minute .	10°,340	2 minutes.	10°,340
1 // .	10, 340	3 // .	10, 340

Combustion.

4 minutes.	11°,500+	6 minutes.	12°,295+
5 // .	12, 210+	7 // .	12, 300+

Période consécutive.

8 minutes.	12°,292	11 minutes.	12°,265
9 // .	12, 283	12 // .	11, 250
10 // .	12, 275	13 // .	11, 255
14 // .	11, 242		

$\Delta t_0 = 0{,}0$, $\Delta t_n = +\ 0{,}0085$.

$\Delta t = -\ 0{,}00262$.

$\theta = 12{,}300 - 10{,}340 = 1°{,}960$.

$T = 1°{,}9862$, $M = 2\,398{,}4$.

AzO^3H équivaut à $5^{cc},1$ K^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},0157$.

Chaleur totale.		$q_1 = 4\,763^{cal},7$
Fer.	$22^{cal},4$	$q_2 = 916,\ 5$
Naphtaline	$890,\ 5$	
AzO^3H étendu.	$3,\ 6$	
Chaleur réelle due au carbone. . .		$q = 3\,847^{cal},2$
Pour 1 gramme. . .		$\frac{3\,847,2}{0,4872} = 7\,896^{cal},5$.

$0^{gr},8654$ graphite brut.

$0,\ 1801$ naphtaline.

Graphite réel brûlé (par la perte de poids) $= 0^{gr},8626$.

Graphite non brûlé $= 0^{gr},0010$.

Vérification	Graphite brut	$0^{gr},8654$
	A déduire (cendres)	$0,\ 0018$
	Non brûlé (pesé séparément).	$0,\ 0010$

Le poids de la capsule de platine a été retrouvé identique.

Période préliminaire.

0 minute .	$10°{,}880$	3 minutes.	$10°{,}880$
1 // .	$10,\ 880$	4 // .	$10,\ 880$
2 // .	$10,\ 880$		

Combustion.

5 minutes.	13°,300+	8 minutes.	14°,412+
6 // .	14, 320+	9 // .	14, 400+
7 // .	14, 405+		

Période consécutive.

10 minutes.	14°,380	14 minutes.	14°,320
11 // .	14, 360	15 // .	13, 304
12 // .	14, 345	16 // .	14, 290
13 // .	14, 328		

$$\Delta t_0 = 0{,}0, \quad \Delta t_n = +\,0{,}015,$$

$$\Delta t = +\,0{,}0637.$$

$$\theta = 14{,}400 - 10{,}880 = 3°{,}520.$$

$$T = 3°{,}5837, \quad M = 2\,398{,}4.$$

AzO^3H équivaut à $11^{cc},8$ K^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},0376$.

Chaleur totale.		$q_1 = 8\,595^{cal},0$
Fer.	$22^{cal},4$	$q_2 = 1\,777,0$
Naphtaline	174, 7	
AzO^3H étendu	8, 4	
Chaleur réelle due au carbone. . .		$q = \overline{6\,817^{cal},2}$
Pour 1 gramme. . .	$\frac{6\,817,2}{0,8626} = 7\,900^{cc},6.$	

IV.

$0^{gr},6785$ graphite brut.
0, 1517 naphtaline.
Graphite réel brûlé $= 0^{gr},677$.
Poids de la capsule vérifié après combustion.

Période préliminaire.

0 minute .	10°,165	2 minutes.	10°,175
1 // .	10, 170	3 // .	10, 180

Combustion.

4 minutes.	12°,800+	6 minutes.	13°,980+
5 // .	13, 800+	7 // .	14, 010+

Période consécutive.

8 minutes.	14°,000	11 minutes.	13°,970
9 // .	13, 990	12 // .	13, 960
10 // .	13, 985	13 // .	13, 950

$$\Delta t_0 = - 0{,}005, \quad \Delta t_n = + 0{,}010,$$

$$\Delta t = - 0{,}0452 = + 0{,}020 + 0{,}0252.$$

$$\theta = 14°{,}010 - 10°{,}180 = 2°{,}838.$$

$$T = 2°{,}8552, \quad M = 2\,398{,}4.$$

AzO^3H équivant à $6^{cc},2$ K^2O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},021$.

Chaleur totale		$q_1 = 6847^{cal},3$
Fer	$22^{cal},4$	$q_2 = 1498,\ 6$
Naphtaline	1471, 5	
AzO^3H étendu	4	
Chaleur réelle due au carbone . .		$q = 5348,\ 7$

Pour 1^{gr}. . . . $\frac{5348.7}{0{,}677} = 7900^{cal},6.$

V

$0^{gr},7944$ graphite brut.
0, 2024 naphtaline.

Graphite réel brûlé (par la perte de poids) = $0^{gr},7913$.
Non brûlé = $0^{gr},0014$.

Vérification		
	Graphite brûlé	0,7913
	Cendres	0,0017
	Graphite non brûlé . . .	0,0014
		0,7944

Poids de la capsule de platine retrouvé identique.

Période préliminaire

0 minute.	10°,095	3e minute.	11°,000
1 // .	11, 000	4 // .	11, 000
2 // .	11, 000	5 // .	11, 000

Combustion

6e minute.	13°,000 +	8e minute.	14°,380 +
7 // .	14, 200 +	9 // .	14, 400 +

Période consécutive

10e minute.	14°,385	13e minute.	14°,350
11 // .	14, 375	14 // .	14, 538
12 // .	14, 362		

$$\Delta t_0 = 0, \qquad \Delta t_n = + 0,0125,$$
$$\Delta t = + 0,038,$$

$$\theta = 14^{\circ},400 - 11^{\circ},000 = 3^{\circ},400.$$

$$T = 3^{\circ},438, \qquad M = 2398,4.$$

AzO^3H équivaut à 11^{cc}, $4K^2O$ au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},0359$.

Chaleur totale		$q_1 = 8246^{cal}$
Fer.	$22^{cal},4$	
Naphtaline	1963, 8	$q_2 = 1993, 8$
AzO^3H étendu.	8, 1	
Chaleur réelle due au carbone . .		$q = 6252, 2$
Pour 1^{gr}. . . .	$\frac{6252,2}{0,7913} = 7900^{cal},9.$	

Voici le résumé des déterminations exécutées sur le graphite :

Poids du carbone graphite (1)	Chaleur de combustion rapportée à 1 gramme
I . . . . . $0^{gr},9716$	$7910^{cal},4$
II 0, 4872	7896, 5
III 0, 8626	7900, 6
IV 0, 6770	7900, 6
V 0, 7913	7900, 9
Moyenne.	$7901^{cal},2$

(1) Cendres déduites.

Les écarts extrêmes s'élèvent à moins de 2 millièmes.

On tire de là, pour

$$C(=21^{gr}\ \text{graphite cristallisé}) + O^2 = CO^2 : + 94^{Cal},81$$

Favre et Silbermann ont trouvé, en moyenne, pour 1 gramme de graphite de deux origines différentes : 7796^{cal} et 7762^{cal} ;

Soit pour $C = 12^{gr}$: $93^{Cal},55$ et $93^{Cal},14$.

L'écart de ces chiffres et de nos mesures s'élève, pour le nombre extrême, à près de 2 centièmes. Ces auteurs avaient employé comme combustible auxiliaire du charbon de bois, formant le tiers du poids du graphite.

III. DIAMANT

Nous attachions une grande importance à mesurer la chaleur de combustion du diamant, à cause de l'intérêt théorique qui s'attache à cette forme du carbone cristallisé, si différente des deux autres par la plupart de ses caractères. Mais son prix élevé rend les essais de ce genre extrêmement coûteux. Nous avons opéré ainsi sur le diamant cristallisé (du Cap) et sur le diamant noir, non clivable, qui porte le nom de *bort*.

La combustion du diamant s'est effectuée sans difficulté, en opérant sur des fragments

concassés et associés à une dose de naphtaline, qui a varié entre 11 et 16 centièmes du poids du diamant, c'est-à-dire qu'elle a été bien moindre qu'avec le graphite. Les cendres de ce diamant s'élevaient à 0,12 pour 100.

Voici les données numériques :

I

Diamant du Cap. — Concassé en menus morceaux au mortier d'acier, puis lavé à l'acide chlorhydrique, lavé à l'eau pure et finalement lavé et séché. On l'a brûlé avec le concours d'un peu de naphtaline, sur une plaque de platine emboutie et perforée de petits trous. On a employé

$0^{gr},8816$ diamant brut,
0, 1168 naphtaline.

Après combustion, on a pesé la plaque, sur laquelle se trouvait un peu de diamant non brûlé et les cendres de la portion brûlée. On a obtenu ainsi un excès de poids :

Résidu (diamant non brûlé et cendres). . $0^{gr},0230$

On a déduit cet excès du poids du diamant initial. Puis on a détaché ce résidu et on a vérifié que la plaque reprenait son poids initial ; elle ne retenait pas de globule d'oxyde de fer incrusté, provenant de la combustion du fil métallique. En définitive, on a trouvé :

Diamant brûlé = 0gr,8586.

Période préliminaire

0 minute.	16°,280	3e minute.	16°,287
1 » .	16, 282	4 » .	16, 288
2 » .	16, 285	5 » .	16, 290

Combustion

6e minute.	17°,400 +	8e minute.	19°,500 +
7 » .	18, 700 +	9 » .	19, 553 +

Période consécutive

10e minute.	19°,540	13e minute.	19°,500
11 » .	19, 525	14 » .	19, 490
12 » .	19, 515	15 » .	19, 475

$$\Delta t_0 = -0{,}002, \qquad \Delta t_n = +0{,}013,$$

$$\Delta t = -0{,}008 + 0{,}039 = +0{,}031.$$

$$\theta = 19°{,}553 - 16{,}290 = 3°{,}263.$$

$$T = 3°{,}294, \qquad M = 2399{,}6.$$

AzO^{3}H équivant à 8cc,8K^{2}O au $\frac{1}{20}$ d'équiv. = 0gr,028.

Chaleur totale		$q_1 = 7904^{cal},6$
Fer	$22^{cal},4$	$q_2 = 1161,\ 6$
Naphtaline	1133, 0	
AzO^{3}H étendu . . .	6, 2	
Chaleur réelle due au carbone .		$q = 6743$
Pour 1gr. . . .	$\frac{6743}{0{,}8586} = 7853^{cal},6$	

II

0gr,3785 diamant brut,
0, 0409 naphtaline.
Résidu (diamant non brûlé et cendres). . 0gr,0121
Diamant brûlé = 0,3754.

Période préliminaire

0 minute.	15°,545	3e minute.	15°,555
1 // .	15, 548	4 // .	15, 558
2 // .	15, 552	5 // .	15, 562

Combustion

6e minute.	16°,100 +	8e minute.	16°,940 +
7 // .	16, 800 +	9 // .	16, 956 +

Période consécutive

10e minute.	16°,950	13e minute.	16°,935
11 // .	16, 943	14 // .	16, 927
12 // .	16, 940	15 // .	16, 920

$\Delta t_0 = -0{,}0034$, $\Delta t_n = +0{,}006$,
$\Delta t = -0{,}0136 + 0{,}0263 = +0{,}0127$.
$\theta = 16°{,}956 - 15°{,}562 = 1°{,}394$,
$T = 1°{,}4067$, $M = 2398{,}4$.

AzO^3H équivaut à $3^{cc},4K^2O$ au $\frac{1}{20}$ d'équiv. = 0gr,0107.

Chaleur totale . . . . . $q_1 = 3372^{cal},8$

Fer . . . . . $22^{cal},4$
Naphtaline 396, 7
AzO^3H étendu. . . . 2, 4
$\Big\}\ q_2 = 421, 5$

Chaleur réelle due au carbone . $q = 2951, 3$

Pour 1^{gr}. . . . $\frac{2951,3}{0,3754} = 7861^{cal},4$.

III

Diamant brut . . . . . $0^{gr},7295$
Naphtaline 0, 1315
Résidu (diamant non brûlé et cendres) . 0, 0137
Diamant brûlé = $0^{gr},7158$.

Période préliminaire

0 minute .	16°,485	3e minute.	16°,485
1 // .	16, 485	4 // .	16, 485
2 // .	16, 485	5 // .	16, 485

Combustion

6e minute.	17°,700 +	8e minute.	19°,310 +
7 // .	18, 800 +	9 // .	19, 345 +

Période consécutive

10e minute.	19°,335	13e minute.	19°,305
11 // .	19, 325	14 // .	19, 295
12 // .	19, 315	15 // .	19, 285

$\Delta t_0 = 0{,}0$, $\Delta t_n = +\ 0{,}010$,

$\Delta t = +\ 0{,}027$.

$\theta = 19{,}345 - 16{,}485 = 2^{\circ}{,}860$,

$T = 2^{\circ}{,}807$, $M = 2399{,}6$.

AzO^3H équivaut à $5^{cc}{,}4K^2O$ au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr}{,}0107$.

Chaleur totale		$q_1 = 6928^{cal}{,}0$
Fer	$22^{cal}{,}4$	$q_2 = 1300,\ 4$
Naphtaline	$1275,\ 6$	
AzO^3H étendu . . .	$3,\ 7$	
Chaleur réelle due au carbone .		$q_2 = 5627,\ 6$
Pour 1^{gr}. . . .	$\frac{5627,6}{0,7158} = 7862^{cal}{,}2$.	

IV

Diamant brut	$0^{gr}{,}8300$
Naphtaline	$0,\ 1264$
Résidu.	$10,\ 070$

Diamant brûlé $= 0^{gr}{,}8138$.

Période préliminaire

0 minute.	$15^{\circ}{,}900$	3e minute.	$15^{\circ}{,}902$
1 // .	$15,\ 900$	4 // .	$15,\ 905$
2 // .	$15.\ 902$	5 // .	$15,\ 905$

Combustion

6e minute.	$16^{\circ}{,}700 +$	8e minute.	$18^{\circ}{,}700 +$
7 // .	$17,\ 800 +$	9 // .	$19,\ 067 +$

Période consécutive

10e minute.	19°,055	14e minute.	19°,010
11 // .	19, 045	15 // .	18, 995
12 // .	19, 034	16 // .	18, 982
13 // .	19, 020		

$$\Delta t_0 = -0{,}001, \qquad \Delta t_n = +0{,}012,$$
$$\Delta t = -0{,}004 + 0{,}029 = +0{,}025.$$
$$\theta = 19°{,}067 - 15°{,}905 = 13°{,}162,$$
$$T = 3°{,}187, \qquad M = 2399\,6.$$

A zO^3H équivaut à $5^{cc},4K^2O$ au $\frac{1}{20}$ d'équiv. = $0^{gr},017$.

Chaleur totale		$q_1 = 7647^{cal},8$
Fer	$22^{cal},4$	
Naphtaline	1226, 1	$q_2 = 1252,\ 2$
AzO^3H étendu . . .	3, 7	
Chaleur réelle due au carbone. .		$q = 6395,\ 6$
Pour 1gr.		$7858^{cal},8$

En résumé, nous avons obtenu avec le diamant cristallisé :

Poids du carbone diamant	Chaleur de combustion rapportée à 1 gramme
$0^{gr},8586$	$7853^{cal},6$
0, 3754	7861, 4
0, 7158	7862, 2
0, 8138	7858, 8
Moyenne.	$7859^{cal},0$

Les résultats extrêmes ne s'écartent que d'un millième. On tire de là

$$C(= 12^{gr} \text{ carbone diamant}) + O^2 = CO^2. \quad 94^{Cal},31$$

Deux expériences ont été faites avec le diamant bort. En voici les données :

I

Diamant bort

Diamant bort	$0^{gr},4220$
Naphtaline	0, 1171
Résidu.	0, 0017

Diamant réel brûlé = $0^{gr},4203$.

Période préliminaire

0 minute .	15°,340	3e minute.	15°,340
1 // .	15, 340	4 // .	15, 340
2 // .	15, 340		

Combustion

5e minute.	16°,300 +	7e minute.	17°,158 +
6 // .	16, 820 +	8 // .	17, 179 +

Période consécutive

9e minute.	17°,170	13e minute.	17°,143
10 // .	17, 170	14 // .	17, 125
11 // .	17, 152	15 // .	17, 115
12 // .	17, 143		

$$\Delta t_0 = 0{,}0, \qquad \Delta t_n = +\,0{,}009,$$

$$\Delta t = +\,0{,}024.$$

$$\theta = 17^{\circ},179 - 15^{\circ},340 = 1^{\circ},839.$$

$$T = 1^{\circ},863, \qquad M = 2398{,}4.$$

AzO^3H équivaut à $6^{cc},2\,K^2O$ au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},0195$.

Chaleur totale		$q_1 = 4468^{cal},2$
Fer	$22^{cal},4$	$q_2 = 1162,\ 6$
Naphtaline	$1135,\ 9$	
AzO^3H étendu . . .	$4,\ 3$	
Chaleur réelle due au carbone .		$q = 3305^{cal},6$
Pour 1^{gr}. . . .	$\frac{3305,6}{0,4203} = 7864^{cal},7.$	

II

Diamant bort	$0^{gr},5023$
Naphtaline	0, 1088
Résidu.	0, 0066

Diamant réel brûlé $= 0^{gr},4957$.

Période préliminaire

0 minute .	$15^{\circ},490$	3e minute.	$15^{\circ},498$
1 // .	15, 490	4 // .	15, 500
2 // .	15, 495		

Combustion

5e minute.	$16^{\circ},400 +$	7e minute.	$17^{\circ},540 +$
6 // .	$17,\ 400 +$	8 // .	$17,\ 550 +$

Période consécutive

9e minute.	17°,540	12e minute.	17°,510
10 // .	17, 530	13 // .	17, 500
11 // .	17, 520		

$$\Delta t_0 = -0{,}0025, \qquad \Delta t_n = +0{,}010,$$

$$\Delta t = -0{,}01 + 0{,}036,$$

$$\Delta t = +0{,}026.$$

$$\vartheta = 17°{,}550 - 15°{,}500 = 2°{,}050.$$

$$T = 2°{,}076 \qquad M = 2398{,}4.$$

AzO^3H équivaut à $9^{cc},2K^2O$ au $\frac{1}{20}$ d'équiv. $= 0^{gr},029$.

Chaleur totale		$q_1 = 4979^{cal},0$
Fer	$22^{cal},4$	$q_2 = 1084,3$
Naphtaline	1055, 3	
AzO^3H	6, 6	
Chaleur réelle due au carbone .		$q = 3894^{cal},7$
Pour 1gr. . . .	$\frac{3894,7}{0,4957} = 7857,1.$	

En résumé, nous avons obtenu pour le bort :

Poids du carbone diamant bort	Chaleur de combustion pour 1 gramme
$0^{gr},4203$	$7864^{cal},7$
0, 4957	7857, 1
	$7860^{cal},9$
Pour C + 12gr. . . .	$94^{Cal},34$

C'est le même chiffre sensiblement que pour le diamant ordinaire.

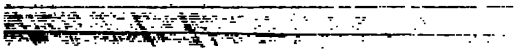
Favre et Silbermann ont fait seulement deux combustions, avec 2 grammes de diamant en tout, mêlé avec $1^{gr},5$ de charbon : ce qui diminue beaucoup la précision. Ils ont trouvé pour 1 gramme : 7770^{cal} et 7878^{cal}. Ils ont préféré le premier chiffre, seul reproduit dans leur Tableau final et qui conduit, pour C = 12 grammes, à $93^{Cal},24$. Mais ces résultats étaient insuffisants.

Le tableau suivant résume nos propres résultats :

Variétés	Chaleur moléculaire de combustion (pour 12 grammes)
Carbone amorphe	$97^{Cal},65$
Graphite cristallisé. . . .	94, 81
Diamant.	94, 31

Ces trois variétés fournissent donc des résultats différents : l'écart surpasse $3^{Cal},24$, ou 3 centièmes, pour le carbone amorphe ; il est d'un demi-centième pour le graphite. Telle est la chaleur qui se dégagerait, si l'on ramenait ces deux variétés à l'état de diamant. Les valeurs

anciennes adoptées jusqu'ici pour la chaleur de combustion du carbone doivent donc être augmentées dans une proportion très sensible, laquelle modifie les calculs relatifs à la chaleur animale, et accroît en même temps les chaleurs de formation de tous les composés organiques depuis leurs éléments, spécialement depuis le carbone amorphe, telles qu'elles ont été calculées jusqu'à ce jour.



CHAPITRE II

—

CHALEUR DE COMBUSTION ET DE FORMATION DES COMPOSÉS MINÉRAUX ET DES COMPOSÉS CARBONÉS BINAIRES ET TERNAIRES NON AZOTÉS, SUSCEPTIBLES DE SERVIR D'ALIMENTS OU DE PRENDRE NAISSANCE DANS L'ÉCONOMIE ANIMALE : HYDRATES DE CARBONE ET CORPS GRAS

La chaleur animale est produite par les métamorphoses et par l'oxydation des matières alimentaires, spécialement des trois groupes fondamentaux : corps gras, hydrates de carbone et composés albuminoïdes. Pour en définir l'origine et le développement, il est donc nécessaire de connaître la chaleur dégagée par chacune de ces métamorphoses en particulier, chaleur

qui se déduit elle-même, suivant les principes de la Thermochimie, de la connaissance des chaleurs de combustion et de formation des divers principes contenus dans les éléments et dans l'économie humaine. C'est dire assez quelle importance présente la détermination de ces chaleurs de combustion.

Les nouvelles méthodes que j'ai employées à cet effet, et spécialement l'emploi de la bombe calorimétrique, ont permis de l'aborder d'une façon générale, et pour des corps qui échappaient pour la plupart, en raison de leur fixité et de leur difficile inflammabilité, aux anciennes méthodes fondées sur l'emploi de l'oxygène libre.

L'emploi du chlorate de potasse, à l'aide duquel on avait essayé de tourner la difficulté, n'avait fourni que des résultats trop imparfaits pour pouvoir servir de base à des déductions exactes.

Au contraire, l'oxygène, comprimé à 25 atmosphères dans mes nouveaux appareils, ne souffre aucune exception et donne lieu aux mesures les plus précises. Dès à présent, les chaleurs de formation et de combustion des divers composés organiques, et en particulier celles des hydrates de carbone et des principaux corps gras, ainsi que celles des principes azotés et albuminoïdes mis

en œuvre dans les organismes animaux ont été déterminées exactement depuis vingt ans, en grande partie dans mon laboratoire et par mes élèves et amis. Divers chimistes allemands et russes, spécialement Stohmann, sont venus, avec un zèle qui les honore, étudier à Paris la bombe calorimétrique, et ils ont apporté un contingent considérable à cette œuvre capitale. Je me propose de donner ici des tableaux résumant les principales données, utiles à connaître pour l'ordre d'études envisagé dans le présent ouvrage. Je commencerai par les principes ternaires oxygénés; puis je traiterai les corps azotés, amides, nitriles, albuminoïdes, dans une série de chapitres spéciaux.

Dans le présent chapitre, je donnerai donc les tableaux des chaleurs de combustion et des chaleurs de formation des principes formés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, susceptibles de se rencontrer parmi les aliments; ou bien d'être introduits ou formés au sein de l'économie, dans des conditions usuelles. Je les ferai précéder de quelques données plus générales, qui se retrouvent non moins fréquemment, soit dans la théorie, soit dans la pratique, pendant les études de chimie physiologique.

J'ajouterai que les chiffres qui vont être présentés sont tirés de mon ouvrage intitulé : *Ther-*

mochimie : *Données et lois numériques* (1), ouvrage où l'on indique comment ils ont été obtenus directement, ou déduits de données expérimentales.

J'y ai ajouté quelques données.

Toutes les chaleurs de formation des composés organiques sont calculées depuis le carbone, pris à l'état de diamant. Elles seraient accrues de $+ 3^{Cal},34$ par atome de carbone ($C = 12^{gr}$), si l'on partait du carbone amorphe.

On les présentera à la fois pour les corps isolés et pour les corps dissous, condition qui est celle d'un grand nombre de composés contenus dans les liquides organiques.

On transcrira également les chaleurs de combustion, à la fois pour le cas où l'acide carbonique se dégage à l'état de gaz, et pour le cas, réalisé transitoirement dans l'économie, où il demeure dissous : ce qui dégage en plus $+ 5^{Cal},6$ par molécule de CO^2, soit 44 grammes.

La Calorie ici employée exprime la quantité de chaleur capable d'élever d'un degré 1 kilogramme d'eau, pris à 15°.

---

(1) 2 Volumes in-8°, chez Gauthier-Villars, 1897.

DONNÉES GÉNÉRALES

Formation de l'*eau*, H^2O (18 grammes)

$H^2 + O =$ H^2O liquide, à 15°	+	$69^{Cal},0$
// H^2O gazeuse, à 15°	+	58, 3
// H^2O solide, à 0°	+	70, 4

Eau oxygénée, H^2O^2 (34 grammes)

H^2O liquide $+ O =$ H^2O^2 dissoute . . .	—	21, 7

Ozone, Oz (48 grammes)

$3O =$ Oz (gaz).	—	30, 7

Les combustions produites par l'ozone, dégagent + $30^{Cal},7$ de plus que l'oxygène libre. Elles peuvent se produire de deux manières : tantôt en utilisant les trois atomes d'oxygène; tantôt en utilisant un seul atome d'oxygène, les deux autres atomes devenant libres. Mais l'excès thermique demeure le même.

Hydrogène sulfuré, H^2S (34 grammes)

Formation : H^2 + S solide = H^2S gaz. .	+	4, 8
// = H^2S dissous	+	9, 5
Combustion avec dépôt de soufre (Eaux minérales sulfureuses au contact de l'air),		
H^2S dissous $+ O =$ H^2O + S : dégage. .	+	50, 5

Combustion lente avec formation d'acide sulfurique étendu :

H^2S dissous + O^4 = SO^4H^2 étendu . . . + 200^{Cal},9

Ammoniaque, AzH^3 (17 grammes)

Formation : $Az + H^3 = AzH^3$ gaz . . . + 12, 2
// = AzH^3 dissoute . . . . . + 21, 0

Combustion : $AzH^3 + 1\frac{1}{2} H^2O$. . . . . + 91, 3
// AzH^3 dissoute. . . . . + 82, 5

Bicarbonate, $CO^2.H^2O.AzH^3$ (96^{gr})

Formation par les éléments à l'état dissous, H^2O préexistante. . . . . + 152, 6

Acide sulfureux, SO^2 (64 grammes)

$S + O^2 = SO^2$ gaz . . . . . + 69, 3
// = SO^2 dissous. . . . . + 77, 6

Acide sulfurique, SO^4H^2 (98 grammes)

$S + O^4 + H^2 = SO^4H^2$ pur, liquide . . + 192, 2
// = SO^4H^2 étendu. . . . . + 210, 1
$S + O^3 + H^2O$ + eau = SO^4H^2 étendu . + 141, 1
SO^4H^2 pur + eau = SO^4H^2 étendu . . . + 17, 9

Protoxyde d'azote, Az^2O, (44^{gr})

$Az^2 + O = Az^2O$ gaz . . . . . — 20, 6
// = Az^2O dissous . . . . . — 14, 4

Bioxyde d'azote, AzO (30 grammes)

$Az + O = AzO$ gaz	—	$21^{Cal},6$

Les combustions produites par les oxydes de l'azote dégagent respectivement $+ 20^{Cal},6$ pour Az^2O et $+ 21^{Cal},6$ pour AzO, de plus que celles produites par l'oxygène libre.

Acide azoteux, AzO^2H (47 grammes)

$Az^2 + O^3 + H^2O$ + eau = $2AzO^2H$ dissous	—	8, 4

Acide azotique, AzO^3H (63 grammes)

$Az^2 + O^5 + H^2O$ + eau = $2AzO^3H$ dissous	+	28, 6
Soit pour AzO^3H	+	14, 3
AzO^3H pur + eau	+	7, 2
$Az + O^3 + H$ = AzO^3H pur, liquide . .	+	41, 6
// = AzO^3H dissous	+	48, 8

Acide phosphorique, PH^3O^4 (98 grammes)

$P^2 + O^5 + 3H^2O$ + eau = $2PO^4H^3$ dissous.	+	400, 9
Soit pour PO^4H^3.	+	200, 4

Acide carbonique, CO^2 (44 grammes)

Avec le carbone diamant :

$C + O^2 = CO^2$ gaz . . . . . + 94Cal,31

CO^2 dissous . . . . . + 99, 9

Avec le carbone amorphe :

$C + O^2 = CO^2$ gaz . . . . . + 97, 65

CO^2 dissous . . . . . + 103, 25

Dissolution de CO^2 dans l'eau. . . . . + 5, 6

Oxyde de carbone, CO (28 grammes)

Formation avec le carbone diamant :

$C + O = CO$ gaz . . . . . + 26, 1

Formation avec le carbone amorphe :

$C + O = CO$ gaz. . . . . + 29, 45

Combustion : $CO + O = CO^2$. . . . . + 68, 2

Sulfure de carbone, CS^2 (76 grammes)

$C + S^2 = CS^2$ gaz. . . . . — 25, 4

CS^2 liquide . . . . . — 19, 0

Azoture de carbone ou cyanogène,

C^2Az^2 (52 grammes)

$C^2 + Az^2 = C^2Az^2$ ou Cy^2 gaz . . . . — 73, 9

Cy^2 dissous . . . + 67, 1

Combustion, gaz . . . . . + 262, 5

Acide cyanhydrique (nitrile formique)

CHAz (27 grammes)

C + Az + H = CAzH gaz	—	30^{Cal},5
CAzH dissous.	—	24, 4
Combustion, gaz.	+	159, 6
dissous	+	153, 1

Acide cyanique (acide carbimique)

CHAzO (43 grammes)

C + Az + H + O = CAzHO dissous . .	+	37, 0
Combustion, CO^2 gaz	+	91, 8

Cyanate d'ammoniaque, $CHAzO.AzH^3$ (60 grammes)

C + H^4 + Az^2 + O = $CHAzO.AzH^3$ dissous	+	68, 9

Cyanamide, CH^2Az^2 (42 grammes)

C + H^2 + Az^2 = CH^2Az^2 cristallisé . .	—	8, 3
dissous . . .	—	11, 9
Combustion : corps pur, CO^2 gaz. . . .	+	171, 5

Voici maintenant les tableaux des chaleurs de formation et de combustion des principaux composés organiques, formés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène; les composés azotés étant traités à part. On suppose toujours CO^2 gazeux :

Noms	Formule	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Formène	CH^4	16gr	+ 18Cal,9 gaz	+ 213Cal,5
Éthane	C^2H^6	30	+ 23, 3 gaz	+ 372, 3
Éthylène	C^2H^4	28	— 14, 6 gaz	+ 341, 1
Acétylène	C^2H^2	26	— 58, 1 gaz — 52, 8 dissous	+ 315, 7 gaz + 310, 4 dissous
Amylène.	C^5H^{10}	70	+ 7, 3 gaz + 12, 5 liquide	+ 809, 2 gaz + 804, 0 liquide
Diamylène	$C^{10}H^{20}$	140	+ 36, 9 liquide	+ 1596, 2
Benzine	C^6H^6	78	— 11, 3 gaz — 4, 1 liquide	+ 784, 1 gaz + 776, 9 liquide
Toluène	C^7H^8	92	+ 2, 3 liquide	+ 933, 8
Térébenthène	$C^{10}H^{16}$	136	+ 4, 2 liquide	+ 1490, 8
Camphène	$C^{10}H^{16}$	136	+ 25, 8 cristall.	+ 1469, 2
Naphtaline.	$C^{10}H^8$	128	— 22, 8 cristall.	+ 1241, 8

M. Aldéhydes

Noms	Formules	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Aldéhyde méthylique . . .	CH^2O	30gr	+ 25Cal,4 gazeux + 40, 4 dissous	+ 143Cal,0 gazeux + 128, 0 dissous
Trioxyméthylène	$C^3H^6O^3$	90	+ 121, 2 solide	+ 368, 6
Aldéhyde éthylique. . . .	C^2H^4O	44	+ 51, 1 gazeux + 57, 1 liquide + 60, 7 dissous	+ 275, 5 gazeux + 269, 5 liquide + 265, 9 dissous
Paraldéhyde	$C^6H^{12}O^3$	132	+ 166, 6 liquide	+ 813, 2
Aldéhyde benzoïque . . .	C^7H^6O	106	+ 25, 4 liquide	+ 841, 7
Aldéhyde cinnamique. . .	C^9H^8O	132	+ 11, 8 liquide	+ 1112, 9
Glyoxal	$C^2H^2O^2$	58	+ 85Cal,2 solide + 84, 0 dissous	+ 172Cal,4 solide + 173, 6 dissous
Furfurol	$C^5H^4O^2$	96	+ 49, 7 liquide	+ 559, 8
Aldéhyde salicylique . . .	$C^7H^6O^3$	122	+ 59, 5 liquide	+ 807, 6
Vanilline.	$C^8H^8O^3$	152	+ 115, 7 cristal.	+ 914, 7
Acétone	C^3H^6O	58	+ 66Cal,3 liquide + 68, 8 dissous	+ 423Cal,6 liquide + 421, 1 dissous
Camphre.	$C^{10}H^{16}O$	152	+ 80, 3 solide	+ 1413Cal,7
Quinon	$C^6H^4O^2$	108	+ 47, 0 cristal. + 43, 0 dissous	+ 656Cal,8 solide + 660, 8 dissous

III. ALCOOLS

Noms	Formule	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Alcool méthylique	CH^4O	32gr	+ 61Cal,7 liquide + 63, 7 dissous + 59, 8 gazeux	+ 170Cal,6 liquide + 168, 6 dissous
Alcool éthylique	C^2H^6O	46	+ 69, 9 liquide + 72, 4 dissous.	+ 325, 7 liquide + 323, 2 dissous
Éther ordinaire	$(C^2H^5)^2O$	74	+ 62, 8 gazeux + 70, 5 liquide + 76, 4 dissous	+ 658, 4 gazeux + 651, 7 liquide + 645, 8 dissous
Alcool propylique normal .	C^3H^8O	60	+ 78, 6 liquide + 81, 7 dissous	+ 480, 3 liquide + 477, 3 dissous
Alcool isobutylique	$C^4H^{10}O$	74	+ 85, 5 liquide + 88, 4 dissous	+ 636, 7 liquide + 633, 8 dissous

Alcool amylique ordinaire	$C^5H^{12}O$	88gr	+ 91Cal,6 liquide + 94, 4 dissous	+ 793Cal,6 liquide + 791, 1 dissous
Alcool éthalique	$C^{16}H^{34}O$	242	+ 177, 6 solide	+ 2504, 2
Alcool benzylique	C^7H^8O	108	+ 40, 8 liquide	+ 895, 3
Menthol	$C^{10}H^{20}O$	156	+ 123, 0 solide	+ 1509, 2
Bornéol	$C^{10}H^{18}O$	154	+ 97, 0 solide	+ 1467, 0
Cholestérine	$C^{26}H^{44}O$	372	+ 127, 8 solide	+ 3842, 3
Glycol	$C^2H^6O^2$	62gr	+ 112Cal,3 liquide + 114 dissous	+ 283Cal,3 liquide + 281, 6 dissous
Saligénine	$C^7H^8O^2$	124	+ 90, 1 solide + 86, 9 dissous	+ 846, 0 solide + 849, 2 dissous
Terpine	$C^{10}H^{20}O^2$	172	+ 176, 3 solide	+ 1456, 7
Glycérine	$C^3H^8O^3$	92	+ 161, 7 liquide + 163, 2 dissous	+ 397, 2 liquide + 395, 7 dissous
Érythrite	$C^4H^{10}O^4$	122	+ 219, 7 solide + 214, 4 dissous	+ 502, 6 solide + 497, 3 dissous
Arabitol	$C^5H^{12}O^5$	152	+ 273, 5 solide	+ 612
Mannite	$C^6H^{14}O^6$	182	+ 320, 3 solide + 315, 7 dissous	+ 728, 5 solide + 733, 1 dissous

Noms	Formules	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Arabinose	$C^5H^{10}O^5$	150gr	+ 259Cal,4 solide	+ 557Cal,7
Xylose	$C^5H^{10}O^5$	150	+ 255, 8 solide	+ 560, 7
Glucose	$C^6H^{12}O^6$	180gr	+ 302Cal,6 solide + 300, 4 dissous	+ 677Cal,2 solide + 679, 4 dissous
Lévulose.	$C^6H^{12}O^6$	180	+ 303, 9 solide	+ 675, 9
Galactose	$C^6H^{12}O^6$	180	+ 309, 9 solide	+ 669, 9
Sorbine	$C^6H^{12}O^6$	180	+ 370, 9 solide	+ 668, 6
Inosite	$C^6H^{12}O^6$	180	+ 313, 3 solide	+ 665, 5
Saccharose (sucre de canne).	$C^{12}H^{22}O^{11}$	342gr	+ 535Cal,6 solide + 534, 8 dissous	+ 1355Cal,0 solide + 1355, 8 dissous

Lactose (sucre de lait) . . .	$C^{12}H^{24}O^{12}$	360gr	+ 599Cal,8 solide + 596, 1 dissous	+ 1359Cal,8 solide + 1363, 5 dissous
Maltose	$C^{12}H^{22}O^{11}$	342	+ 538, 1 solide	+ 1350, 7
Tréhalose	$C^{12}H^{22}O^{11}$	342	+ 538, 9 solide	+ 1349, 9
Mélitose (*ou raffinose*). . .	$C^{18}H^{32}O^{16}$	504gr	+ 775Cal,3 solide + 766, 9 dissous	+ 2026Cal,1 solide + 2034, 5 dissous
Mélézitose	$C^{18}H^{32}O^{16} + H^2O$		+ 758, 4 solide	+ 2043
Dextrine.	$(C^6H^{10}O^5,n$	162*n*	243Cal,6 × *n* sol. + 243, 3 × *n* dis.	+ 667Cal,2 × *n* sol. + 667, 5 × *n* dis.
Inuline	//	162*n*	+ 231, 4 × *n* sol. + 231, 3 × *n* dis	+ 678, 3 × *n* sol. + 678, 4 × *n* dis.
Amidon	//	162*m*	+ 225, 9 × *m* sol.	+ 684, 9 × *m*
Glycogène	//	162*m*	+ 231, 9 × *m* sol.	+ 678, 9 × *m*
Cellulose (coton)	//	162*p*	+ 230, 4 × *p* sol.	+ 680, 4 × *p*

V. ACIDES MONOBASIQUES [1])

Noms	Formules	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Acide formique	CH^2O^2	46[gr]	+ 101Cal,5 liquide + 101, 6 dissous	+ 61Cal,7 liquide + 61, 6 dissous
Acide acétique	$C^2H^4O^2$	60	+ 117, 2 liquide + 117, 6 dissous	+ 209, 4 liquide + 209, 0 dissous
Ether acétique	$C^2H^5(C^2H^3O^2)$	88	+ 116, 1 liquide + 119, 2 dissous	+ 537, 1 liquide + 534, 0 dissous
Acide propionique	$C^3H^6O^2$	74	+ 122, 5 liquide + 123, 1 dissous	+ 367, 4 liquide + 366, 8 dissous
Acide butyrique	$C^4H^8O^2$	88	+ 128, 8 liquide + 129, 4 dissous	+ 524, 4 liquide + 523, 8 dissous
Acide valérique ordinaire .	$C^5H^{10}O^2$	102	+ 142, 5 liquide + 143, 2 dissous	+ 674, 0 liquide + 673, 3 dissous
Acide caproïque	$C^6H^{12}O^2$	116	+ 149, 6 liquide	+ 830, 2 liquide

Acide benzoïque	$C^7H^6O^2$	130gr	+ 94Cal,2 solide + 87, 7 dissous	+ 772Cal,9 solide + 779, 4 dissous
Acide caprique	$C^{10}H^{20}O^2$	172gr	+ 174Cal,7 solide	+ 1 458Cal,3
Acide myristique	$C^{14}H^{28}O^2$	228	+ 200, 3 solide ou + 224, 5	+ 2 085, 9 ou + 2 061, 7
Trimyristine	C^3H^5 $(C^{14}H^{27}O^2)^3$	722	+ 608, 6 solide ou + 560, 0	+ 6 601, 9 ou + 6 650, 5
Acide margarique ou palmitique	$C^{16}H^{32}O^2$	256	+ 241, 0 solide ou + 214, 4	+ 2 371, 8 ou + 2 398, 4
Acide stéarique	$C^{18}H^{36}O^2$	284	+ 261, 6 solide ou + 227, 6	+ 2 677, 8 ou + 2 711, 8
Acide oléique	$C^{18}H^{34}O^2$	282	+ 188, 0 liquide	+ 2 682

(1) Les chaleurs de combustion des acides gras à molécule élevée, d'après les meilleurs expérimentateurs, offrent des différences de près d'un centième, attribuables à la difficulté de les purifier. De même celles des corps gras neutres. On a donné ici deux des principales valeurs obtenues.

VI. ACIDES BIBASIQUES

Noms	Formules	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Acide oxalique	$C^2H^2O^4$	90gr	+ 197Cal,6 solide + 195, 3 dissous	+ 60Cal,0 solide + 62, 3 dissous
Acide malonique.	$C^3H^4O^4$	104	+ 213, 7 solide + 208, 1 dissous	+ 207, 2 solide + 212, 8 dissous
Acide succinique	$C^4H^6O^4$	118	+ 229, 8 solide + 223, 4 dissous	+ 354, 4 solide + 360, 8 dissous
Acide glutarique	$C^5H^8O^4$	132	+ 231, 4 solide + 226, 0 dissous	+ 516, 1 solide + 521, 5 dissous
Acide adipique	$C^6H^{10}O^4$	146	+ 241, 9 solide	+ 668, 9
Acide sébacique	$C^{10}H^{18}O^4$	202	+ 270, 9 solide	+ 1293, 4
Acide camphorique	$C^{10}H^{16}O^4$	200	+ 253, 2 solide	+ 1241, 8
Acide aconitique (tribasiq.) .	$C^6H^6O^6$	174	+ 294, 8 solide	+ 478, 0
Acide mellique (hexabasiq) .	$C^{12}H^6O^{12}$	342	+ 550, 4 solide	+ 788, 2

VII. ACIDES À FONCTION MIXTE

Noms	Formule	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Acide glycollique	$C^2H^4O^3$	76gr	+ 160Cal,3 solide + 157, 5 dissous	+ 166Cal,3 solide + 169, 1 dissous
Acide glyoxylique	$C^2H^4O^4$	92	+ 201, 1 solide + 198, 6 dissous	+ 125, 5 solide + 128, 2 dissous
Acide lactique.	$C^3H^6O^3$	90	+ 167, 4 liquide	+ 329, 5
Acide mésoxalique	$C^3H^2O^6$	136gr	+ 292Cal,7 solide	+ 128Cal,3
Acide tartronique	$C^3H^4O^5$	120	+ 165, 8 solide + 161, 4 dissous	+ 255, 1 solide + 259, 5 dissous
Acide tartrique	$C^4H^6O^6$	150	+ 302, 3 solide + 298, 9 dissous	+ 281, 0 solide + 284, 4 dissous
Acide lévulique	$C^5H^8O^3$	116	+ 170, 1 solide + 166, 5 dissous	+ 577, 1 solide + 581, 7 dissous
Acide pyromucique. . . .	$C^5H^4O^3$	112	+ 115, 7 solide	+ 493, 8
Acide mucique	$C^6H^{10}O^8$	115	+ 426, 9 solide	+ 483, 9
Acide citrique.	$C^6H^8O^7$	192	+ 366, 9 solide + 364, 8 dissous	+ 474, 9 solide + 477 dissous
Acide salicylique	$C^7H^6O^3$	138	+ 132, 1 solide + 125, 7 dissous	+ 735, 0 solide + 741, 4 dissous
Acide gallique	$C^7H^6O^5$	170	+ 233, 0 solide	+ 631, 1
Acide quinique	$C^7H^{12}O^6$	192	+ 240, 4 solide	+ 833, 4
Acide humique	$C^{18}H^{16}O^7$	344	+ 266, 2 solide	+ 1983, 2
// *anhydride*.	$C^{18}H^{14}O^6$	326	+ 182, 5 solide	+ 1968, 5

VIII. PHÉNOLS

Noms	Formules	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Phénol	C^6H^6O	94gr	+ 36Cal,8 solide + 34, 2 dissous	+ 736Cal,0 solide + 738, 6 dissous
Résorcine	$C^6H^6O^2$	110	+ 89, 45 solide + 85, 6 dissous	+ 683, 4 solide + 687, 8 dissous
Hydroquinon	$C^6H^6O^2$	110	+ 87, 3 solide + 82, 9 dissous	+ 685, 5 solide + 689, 9 dissous
Pyrocatéchine.	$C^6H^6O^2$	110	+ 87, 6 solide	+ 685, 2 solide
Pyrogallol	$C^6H^6O^3$	126	+ 139, 5 solide + 136, 6 dissous	+ 633, 3 solide + 636, 2 dissous

SELS ORGANIQUES

Les acides organiques peuvent être introduits dans l'économie sous deux formes : à l'état libre, ou à l'état de sels, tels que les sels de potasse et de soude principalement. Dans ce dernier cas, ils en sortent, pour la plupart, transformés par l'oxydation en acide carbonique et bicarbonate de potasse, CO^3KH. Cette transformation exige un calcul spécial, qu'il est utile de donner ici.

Soit un acide, $C^nH^{2p}O^q$, supposé monobasique, sa chaleur de formation par les éléments étant égale à F, dans l'état dissous. Soit encore Q, la chaleur de formation par les éléments de l'hydrate alcalin, tel que KOH ou NaOH, auquel il s'unit pour former un sel soluble ; soit enfin N, sa chaleur de neutralisation, laquelle est en général comprise entre 13 Calories et 14 Calories, les produits étant un sel de potasse dissous, $C^nH^{2p-1}KO^q$, et une molécule d'eau, H^2O.

La chaleur de formation (par les éléments) de ce sel dissous, sera : $F + Q + N - 69$.

La chaleur de combustion de l'acide, avec production d'acide carbonique dissous et d'eau, étant, d'ailleurs

$$+ 99{,}9\,n + 69\,p - F$$

Celle de son sel potassique dissous, avec production d'acide carbonique dissous et de bicarbonate dissous, sera

$$+ 99{,}9\,n + 69\,p - F + 11{,}1 - N ;$$

elle différera de celle de l'acide, seulement par la différence $11{,}1 - N$, c'est-à-dire par un nombre généralement négatif et voisin de 3 à 4 Calories : valeur à peu près négligeable dans presque tous les cas, vis-à-vis de la chaleur de combustion totale ; du moins pour les acides qui renferment plusieurs atomes de carbone.

Si le sel était bibasique, l'écart serait doublé, etc.

Dans le cas où l'on établit le calcul de la chaleur de combustion en supposant l'acide carbonique gazeux, $(n - 1)$ molécules seulement de CO^2 prendront cet état, 1 molécule d'acide carbonique étant fixée par la potasse : ce qui porte l'écart à $+ 16{,}7 - N$. Il change alors de signe, c'est-à-dire qu'il prend une valeur positive, environ 3 à 4 Calories par atome de potassium.

CORPS GRAS NATURELS

Ce sont des glycérides, c'est-à-dire des éthers et acides gras. Pour 1 gramme, la composition

pondérale de la plupart d'entre eux est voisine de

$$C = 0{,}765 ; \quad H = 0{,}120 ; \quad O = 0{,}115$$

Dans ces conditions, 1 gramme dégage en brûlant, environ

$+ 9^{Cal},500$; CO^2 étant gazeux,
$+ 9^{Cal},857$; CO^2 étant dissous.

Formation par les éléments, rapportée à 1 gramme de matière : environ $0^{Cal},6143$.

La combustion du beurre dégage un peu moins, en raison de la présence de la butyrine et analogues, qui sont moins carbonées, soit pour 1 gramme

$9^{Cal},231$; CO^2 étant gazeux,
$9^{Cal},58$; CO^2 étant dissous.

Les huiles végétales, dégagent en moyenne, pour 1 gramme brûlé,

$9^{Cal},520$; CO^2 étant gazeux,
$9^{Cal}.877$; CO^2 étant dissous.

HYDRATES DE CARBONE

La combustion d'un hydrate de carbone solide dégage en moyenne, pour un poids de matière

Ces amines fournissent à leur tour des *alcalamides*, en s'unissant aux acides.

Enfin, les *nitriles* et les *imides* dérivent des amides et des alcalamides, par une nouvelle perte d'eau. Ces derniers composés jouent surtout un rôle important dans la thermogenèse : à la fois, parce qu'ils entrent dans la constitution des albuminoïdes, et parce qu'ils sont susceptibles de dégager des quantités de chaleur considérables, lors de leur combinaison avec les éléments de l'eau.

Les chaleurs de formation et de combustion de ces divers groupes ont été, pour la plupart, mesurées dans mon laboratoire, spécialement en ce qui touche les nitriles.

Observons que les chaleurs de combustion qui suivent se rapportent à une combustion totale, avec formation d'acide carbonique, d'eau et d'azote. Si l'azote se sépare à l'état combiné, par exemple à l'état d'urée dissoute, comme il arrive dans l'économie animale, où les combustions sont lentes et accomplies vers la température ordinaire, il conviendra de diminuer la chaleur de combustion totale des principes azotés, de la chaleur de combustion des combinaisons subsistantes, telles que l'urée. Nous allons donner ce calcul. Soit l'urée CH^4Az^2O = 60 grammes. Sa

combustion à l'état pure, dégage + 151^{Cal},5. Si l'urée demeure dissoute, tandis que l'acide carbonique est éliminé simultanément dans l'état gazeux, la combustion produit + 155^{Cal},1.

Enfin, pour l'urée dissoute et l'acide carbonique demeuré également dissous, on a + 160^{Cal},7.

Telles sont les valeurs qui doivent être déduites, dans le calcul de la chaleur animale.

Dans les cas de ce genre, deux atomes d'azote $Az^2 = 28$ grammes sont éliminés sous forme d'urée, au lieu de devenir libres, comme dans une combustion totale. Pour 1 gramme d'azote éliminé sous cette forme, cela fait, l'urée et l'acide carbonique supposés libres : + 5^{Cal},539 ;

Ou bien s'ils sont dissous : + 5^{Cal},739,

Un calcul analogue s'applique aux cas où l'azote s'élimine de l'économie animale sous la forme d'acide urique, ou de tout autre produit de combustion incomplète ; la chaleur de combustion de ces composés devant être retranchée de celle du composé albuminoïde.

Donnons la formule générale de ces calculs.

Admettons, comme dans la 1re partie (p. 162), que l'albumine renferme sur 100 parties

$$C = 52{,}5 ; \quad H = 6{,}5 ; \quad Az = 16{,}5 ; \quad O = 24{,}5.$$

Supposons qu'elle se transforme par oxydation, de telle façon que la totalité de son azote passe dans un principe, contenant sur 100 parties

$$C = a; \quad H = b; \quad Az = c; \quad O = d;$$

Le surplus du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène de l'albumine étant éliminé sous forme d'eau et d'acide carbonique. Nous aurons les équations suivantes, pour 100 parties d'albumine produisant un poids x du principe azoté complémentaire, y d'acide carbonique, z d'eau, le tout en se combinant avec poids w d'oxygène.

Carbone	$52,5 = ax + \frac{3}{11} y.$
Hydrogène . . .	$6,5 = bx + \frac{1}{9} z.$
Azote.	$16,5 = Cx.$
Oxygène	$24,5 - w = dx + \frac{8}{11} y + \frac{8}{9} z.$

D'où :

$$x = \frac{16,5}{c}.$$

$$y = \frac{11}{3}\left(52,5 - 16,5 \times \frac{a}{c}\right).$$

$$z = 9\left(6,5 - 16,5\,\frac{b}{c}\right).$$

Comme on le voit d'abord, pour que la transformation soit possible, sans autre production complémentaire, on doit avoir certaines relations.

Ainsi $\frac{a}{c} < \frac{52,5}{16,5} = 3,182$ en poids; ou en atomes : 3,7; c'est-à-dire que le rapport du carbone à l'azote, dans le principe nouveau, doit être moindre que le rapport du même élément dans l'albumine : condition qui exclut la formation *isolée* de certains composés, l'acide hippurique par exemple, composé où le rapport

$$\frac{a}{c} = 7,7.$$

De même, il semble que l'on devrait avoir $\frac{b}{c} < \frac{6,5}{16,5} = 0,393$ en poids, ou en atomes : 5,5, par la valeur du rapport de l'hydrogène à l'azote, dans le principe nouveau. Toutefois cette dernière condition n'est qu'apparente ; car on peut toujours admettre qu'il y a fixation d'eau, aux dépens des liquides de l'économie, pendant la combustion lente de l'albumine : ce qui revient à attribuer à z une valeur négative.

Quant à l'oxygène, on peut toujours attribuer à w une valeur positive et même considérable. Les seuls composés organiques pour lesquels w soit négatif, c'est-à-dire qui contiennent plus d'oxygène que n'en réclame leur combustion totale, sont des dérivés nitriques, tels que la nitroglycérine, lesquels n'existent pas dans les êtres

vivants. En effet, tous les principes immédiats azotés des êtres vivants dérivent en définition par déshydratation, de l'ammoniaque, qui est un composé oxydable, et de composés hydrocarbonés également oxydables jusqu'à la limite extrême de l'acide carbonique et de l'eau.

Précisons ces formules, en les appliquant à la combustion de l'albumine, avec formation d'urée ou d'acide urique, pris comme exemples. Il suffit de calculer x, pour en déduire la chaleur de combustion correspondante.

(1) 100 grammes d'urée renferment :

$$C = 20{,}00 ; \quad H = 6{,}67 ; \quad Az = 46{,}67 ;$$
$$O = 26{,}66. \quad \text{Dès lors} \quad x = 0{,}354.$$

Carbone correspondant	6,78
Hydrogène correspondant	2,26

$$\frac{a}{c} = 0{,}43 ; \qquad \frac{b}{c} = 0{,}14.$$

Chaleur de combustion, pour le poids $0^{gr},354$:

$$+ 0^{Cal},895.$$

C'est cette quantité qu'il convient de retrancher de la chaleur de combustion totale de 1 gramme d'albumine, laquelle s'élève à : $5^{Cal},77$;

il reste donc $4^{Cal},875$.

(2) 100 grammes d'acide urique renferment :

$$C = 35,72 ; \quad H = 2,38 ; \quad Az = 33,33 ;$$
$$O = 28,57. \quad \text{Dès lors} \quad x = 0,50,$$

Carbone correspondant	17,8
Hydrogène correspondant	1,2

$$\frac{a}{c} = 1,07 ; \qquad \frac{b}{c} = 0,714.$$

Chaleur de combustion, pour le poids $0^{gr},50$:

$$+ 1^{Cal},37.$$

Pour cette quantité qu'il convient de retrancher de la combustion totale de 1 gramme d'albumine. Il reste donc $4^{Cal},40$.

Voici les tableaux des chaleurs de formation des principes azotés, à molécule bien définie, susceptible d'exister dans l'économie animale, tels qu'amides, alcalamides, uréïdes, nitrites, amines, etc. :

I. AMIDES

Noms	Formule	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Amide formique	CH^3AzO	45gr	+ 64Cal,2 dissous	+ 139Cal,2 dissous
Amide acétique	C^2H^5AzO	59	+ 72, 9 solide + 71, 1 dissous	+ 288, 1 solide + 289, 9 dissous
Amide propionique	C^3H^7AzO	73	+ 88, 4 solide	+ 436, 0
Amide benzoïque	C^7H^7AzO	121	+ 49, 3 solide	+ 852, 3
Amide oxalique	$C^2H^4Az^2O^2$	88	+ 129, 7 solide	+ 196, 9
Acide oxamique	$C^2H^3AzO^3$	89	+ 163, 3 solide + 156, 3 dissous	+ 128, 8 solide + 135, 8 dissous
Amide succinique	$C^4H^8Az^2O^2$	116	+ 143, 5 solide	+ 509, 7
Imide succinique	$C^4H^5AzO^2$	99	+ 110, 5 solide	+ 439, 2
Taurine ou *amide iséthionique*	$C^2H^7AzSO^3$	125	+ 188, 5 solide	+ 382, 9 (1)
Acide aspartique.	$C^4H^7AzO^4$	133	+ 231, 9 solide + 224, 7 dissous	+ 386, 8 solide + 394, 0 dissous
Asparagine.	$C^4H^8Az^2O^3$	132	+ 205, 1 solide	+ 448, 1

(1) Avec formation de SO^4H^2 étendu.

Noms	Formules	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Acide hippurique (benzoglycollamide)	$C^9H^9AzO^3$	179gr	+ 146Cal,3 solide	+ 1012Cal,9
Sarcosine (glycolméthylamine)	$C^3H^7AzO^2$	89	+ 123, 2 solide	+ 401, 2
Créatine (uréide de la sarcosine).	$C^4H^9Az^3O^2$	131	+ 127, 7 solide + 125 dissous	+ 560, 0 + 562, 3 dissous

III. URÉIDES ET CONGÉNÈRES

Noms	Formule	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Urée ou amide carbonique .	CH^4Az^2O	60gr	+ 80Cal,8 solide + 77, 2 dissous	+ 151Cal,5 solide + 154, 1 dissous
Cyanamide	CH^2Az^2	42	— 8, 3 solide — 11, 9 dissous	+ 176, 6 solide + 180, 2 dissous
Imide carbonique ou *acide cyanique*	CHAzO	43	+ 37, 0 dissous	+ 918 dissous
Acide sulfocyanique . . .	CHAzS	59	— 18, 5 dissous	//
Acide cyanurique	$(CHAzO)^3$	129	+ 165, 1 solide + 161, 9 dissous	+ 152, 3 solide + 155, 5 dissous
Formylurée	$C^2H^4Az^2O^2$	88	+ 119, 3 solide + 112, 1 dissous	+ 207, 3 solide + 214, 5 dissous
Acétylurée	$C^3H^6Az^2O^2$	102	+ 129 solide + 122, 2 dissous	+ 360 solide + 366, 8 dissous
Acide oxalurétique	$C^3H^4Az^2O^4$	132	+ 213, 2	+ 207, 7
Imide (*acide parabanique*) .	$C^3H^2Az^2O^3$	114	+ 139, 2 solide + 134, 1 dissous	+ 212, 7 solide + 217, 8 dissous

Ac. glycolurėiq. (*hydantoïq.*)	$C^3H^6Az^2O^3$	118gr	+ 181Cal,6 solide + 175, 1 dissous	+ 308Cal,4 solide + 314, 9 dissous
Imide glycolurėique ou *glycolylurée* (*hydantoïne*) . .	$C^3H^4Az^2O^2$	100	+ 109, 0 solide + 102, 9 dissous	+ 311, 9 solide + 318 dissous
Allantoïne	$C^4H^6Az^4O^3$	158	+ 170, 4 solide + 162, 6 dissous	+ 413, 8 solide + 421, 6 dissous
Imide malonylurėique . .	$C^4H^4Az^2O^3$	128	+ 161, 8 solide	+ 353, 4
Diurėide pyruviurėique . .	$C^5H^8Az^4O^3$	172	+ 180, 6 solide	+ 566, 9
Imide mėsoxalurėique (*alloxane*)	$C^4H^4Az^2O^5$	160	+ 238, 0 solide + 234, 5 dissous	+ 276, 5 solide + 278 dissous
Acide urique	$C^5H^4Az^4O^3$	168	+ 148, 1 solide	+ 461, 4
Xanthine	$C^5H^4Az^4O^2$	162	+ 91, 0 solide	+ 508, 5
Guanine.	$C^5H^5Az^5O$	151	+ 57, 4 solide	+ 586, 6
Théobromine ou *dimėthyl xanthine*	$C^7H^8Az^4O^2$	180	+ 90, 1 solide	+ 846
Caféine ou *trimėthylxanthine*	$C^8H^{10}Az^4O^2$	194	+ 83, 4 solide + 80, 7 dissous	+ 1016, 0 solide + 1018, 7 dissous

IV. NITRILES

Noms	Formules	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Nitrile formique ou acide cyanhydrique	$CHAz$	27gr	— 30Cal,5 gaz — 24, 8 liquide — 24, 4 dissous	+ 159Cal,3 gaz + 153, 6 liquide + 158, 2 dissous
Nitrile acétique	C^2H^3Az	41	+ 0, 45 liquide	+ 291, 65
Nitrile propionique	C^3H^5Az	55	+ 8, 7 liquide	+ 446, 7
Nitrile benzoïque	C^7H^5Az	103gr	+ 31Cal,1 liquide	+ 865Cal,9
Nitrile phénylacétique	C^8H^7Az	117	— 27, 9 liquide	+ 1023, 8
Nitrile toluique (ortho)	C^8H^7Az	117	— 34, 8 liquide	+ 1030, 7
Nitrile glycollique	C^2H^3AzO	57gr	+ 36Cal,1 liquide	+ 257Cal,0
Nitrile lactique	C^3H^5AzO	71	+ 35, 1 liquide	+ 419, 9
Nitrile oxalique ou cyanogène	C^2Az^2	52gr	— 73Cal,9 gaz — 68, 5 liquide — 67, 1 dissous	+ 262Cal,5 gaz + 257, 1 liquide + 255, 7 dissous
Nitrile malonique	$C^3H^2Az^2$	66	— 42, 3 solide	+ 395, 1
Nitrile succinique	$C^4H^4Az^2$	80	— 29, 8 solide	+ 545, 0
Nitrile glutarique	$C^5H^6Az^2$	94	+ 243 liquide	+ 699, 8

IV *bis*. HYDRATATION DES NITRILES

Noms	Hydratation	Chaleur dégagée
Nitrile formique dissous	$+ 2H^2O$ = sel ammoniacal dissous.	$+ 21^{Cal},0$
Nitrile acétique liquide	$+ 2H^2O$	+ 12, 7
Nitrile benzoïque liquide	$+ 2H^2O$	+ 17, 7
Nitrile toluique liquide	$+ 2H^2O$	+ 17, 7
Nitrile glycollique dissous	$+ 2H^2O$	+ 16, 6
Nitrile lactique liquide	$+ 2H^2O$ = sel ammoniacal dissous.	$+ 20^{Cal},0$
Nitrile oxalique dissous	$+ 4H^2O$	+ 53, 2
Nitrile malonique liquide	$+ 4H^2O$	+ 51, 0
Nitrile succinique liquide	$+ 4H^2O$	+ 42, 7

V. SÉRIE DE L'INDOL ET DU PYRROL

Noms	Formules	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Indol	C^8H^7Az	117	— 26Cal,8 solide	+ 1 022Cal,8
Dioxindol	$C^8H^7AzO^2$	149	+ 80, 2 solide	+ 915, 7
Isatine	$C^8H^5AzO^2$	147	+ 59, 0 solide	+ 867, 8
Isathyde	$C^{16}H^{12}Az^2O^4$	296	+ 145, 0 solide	+ 1 777, 8
Indigotine	$C^{16}H^{10}Az^2O^2$	262	+ 41, 0 solide	+ 1 812, 6
Pyrrol	C^4H^5Az	67	— 18Cal,0 liquide	+ 568Cal,0
Phénylpyrrol	$C^{10}H^9Az$	143	— 30, 6 liquide	+ 1 284, 1

Noms	Formules	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Méthylamine	CH^5Az	31gr	+ 9Cal,9 gaz + 22(environ) dissous	+ 256Cal,9 gaz + 245 dissous
Triméthylamine.	$(CH^3)^3Az$	59	+ 1, 4 gaz + 5, 6 liquide + 14, 3 dissous	+ 590 gaz + 586, 4 liquide + 578, 9 dissous
Éthylamine.	C^2H^7Az	45	+ 27, 0 liquide + 33, 3 dissous	+ 406, 1 liquide + 399, 8 dissous
Amylamine	$C^5H^{13}Az$	87	+ 52, 4 liquide + 57, 4 dissous	+ 867, 6 liquide + 862, 6 dissous
Benzylamine	C^7H^9Az	107	+ 2, 0 liquide	+ 968, 6 liquide
Aniline	C^6H^7Az	93gr	— 11Cal,2 liquide — 11, 4 dissous	+ 818Cal,5 liquide + 818, 3 dissous
Toluidine	C^7H^9Az	107	+ 5, 9 liquide	+ 964, 7
Pyridine	C^5H^5Az	79gr	— 21Cal,1 liquide — 19, 0 dissous	+ 665Cal,1 liquide + 663 dissous
Piperidine	$C^5H^{11}Az$	85	+ 24, 5 liquide + 31, 0 dissous	+ 826, 5 liquide + 820 dissous
Quinoléine	C^9H^7Az	129	— 32, 8 liquide — 31, 8 dissous	+ 1123, 0 liquide + 1124, 0 dissous
Hydroquinoléine.	$C^9H^{11}Az$	133	+ 0, 4 liquide	+ 1227, 8
Nicotine.	$C^{10}H^{14}Az^2$	162	— 1. 8 liquide	+ 1427, 9
Guanidine	CH^4Az^3	58	+ 19Cal,2 solide + 20, 4 dissous	+ 247Cal,6 solide + 245, 4 dissous

VII. AMINES-ACIDES

Noms	Formules	Poids	Formation par les éléments	Combustion
Glycollamine ou *glycocolle* (*amine oxyacétique*). . .	$C^2H^5AzO^2$	75gr	+ 126Cal,2 solide + 122, 5 dissous	+ 235Cal,9 solide + 238, 6 dissous
Alanine (*amine oxypropionique*).	$C^3H^7AzO^2$	89	+ 136, 1 solide	+ 389, 2
Leucine (*amine oxyhexylique*).	$C^6H^{13}AzO^2$	131	+ 158, 4 solide	+ 855, 9
Tyrosine (*amine hydrocoumarique-para*).	$C^9H^{11}AzO^3$	181	+ 157 solide	+ 1071, 2

Comparons la chaleur totale de combustion des principes azotés, depuis les plus importants parmi ceux qui peuvent exister dans l'économie humaine, à la chaleur qui résulterait du mode de calcul proposé autrefois par Dulong et adopté par un grand nombre de physiologistes : calcul d'après lequel le carbone d'un composé organique dégagerait autant de chaleur que s'il était libre, tandis que l'oxygène serait supposé combiné à une dose équivalente d'hydrogène suivant les proportions de l'eau ; cette dernière étant supposée séparable en nature, lors de la combustion totale. Enfin on admettait que l'excès d'hydrogène, sur ces proportions, dégage la même quantité de chaleur que s'il était libre. Entre la chaleur totale de combustion, trouvée par expérience, et la chaleur évaluée d'après cet ancien mode de calcul, voici les différences, évaluées bien entendu, pour les poids moléculaires respectifs des divers principes azotés à molécule bien définie, qui jouent un rôle important dans l'évaluation de la chaleur animale :

Différences des poids moléculaires

Urée	— 11Cal,8
Glycollamine	+ 11, 8
Alanine	+ 2, 8
Leucine	— 20, 4
Asparagine	+ 1, 9
Acide aspartique	+ 33, 2
Acide urique	+ 37, 0
Acide hippurique	+ 60, 7
Tyrosine	+ 50, 0

On voit combien ce mode de calcul était à la fois incorrect et incertain.

Voici encore la chaleur dégagée par la combustion des composés précédents, les corps étant dissous et le calcul fait dans l'hypothèse où tout leur azote serait éliminé à l'état d'urée. Pour les cas où la chaleur de dissolution propre des composés est inconnue, on l'a évaluée par approximation. En outre, nous regarderons l'acide carbonique comme dissous; cette condition étant celle des combustions intermédiaires, opérées dans l'épaisseur des tissus, au sein de l'organisme animal.

Composés	Formules	Corps purs			Tous corps dissous, y compris CO^2		
		Combustion totale	Azote changé en urée	Déficit	Combustion totale	Azote changé en urée	Déficit
Glycollamine . .	$C^2H^5AzO^2$	+ 234,9	+ 159,2	75,7	+ 249,7	169,35	80,35
Alanine	$C^3H^7AzO^2$	+ 389,2	+ 313,5	75,7	+ 410 env.	330	80,35
Leucine	$C^6H^{13}AzO^2$	+ 855,9	+ 780,4	75,7	+ 894 env.	814	80,35
Tyrosine. . . .	$C^9H^{11}AzO^3$	+ 1071,2	+ 995,5	75,7	+ 1128 env.	1048	80,35
Asparagine. . .	$C^4H^8Az^2O^3$	+ 448,1	+ 296,6	151,5	+ 476 env.	315	160,7
Acide aspartique.	$C^4H^7AzO^4$	+ 368,8	+ 311,1	75,7	+ 416,5	336	80,35
Acide hippurique.	$C^9H^9AzO^3$	+ 1012,9	+ 937,2	75,7	+ 1079 env.	999	80,35
Acide urique . .	$C^5H^4Az^4O^3$	+ 461,4	+ 158,4	303,0	+ 494 env.	163	321,4

Ce procédé de transformation mérite d'autant plus attention, qu'il répond chez l'homme à plus des quatre cinquièmes de l'azote éliminé.

On voit que la chaleur ainsi dégagée est inférieure à la chaleur de combustion totale et elle l'est de quantités considérables, qui s'élèvent au tiers pour la glycollamine et l'asparagine; au treizième seulement, pour l'acide hippurique et la tyrosine. Mais elles peuvent monter jusqu'aux deux tiers pour des corps très azotés, tels que l'acide urique.

On voit encore par là à quel point étaient imparfaits les anciens procédés employés pour calculer la chaleur animale, et combien l'urée joue un rôle important dans cette évaluation ; car elle constitue la forme d'élimination pour les 80 ou 85 centièmes de l'azote, éliminé par l'organisme humain.

Relevons encore quelques chiffres, relatifs à l'oxydation graduelle des albuminoïdes, sans production d'azote libre.

L'albumine, prise à un certain degré de dessiccation renferme, nous l'avons dit (1re partie, p. 162) :

52,5 centièmes de carbone,
6,5 d'hydrogène,
et 16,5 centièmes d'azote.

De là résulte que le rapport atomique du carbone à l'azote, dans cette substance, est sensiblement celui de 3,7 : 1. La chaleur dégagée par la combustion totale de 1 gramme d'albumine, offrant cette composition, sera $5^{Cal},770$:

le poids de l'oxygène fixé étant $1^{gr},675$, le poids de l'acide carbonique produit, $1^{gr},925$.

Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ (quotient respiratoire) en volume = 0,84.

Ceci posé, parmi les composés azotés que l'albumine est susceptible de former chez les êtres vivants, nous en prendrons seulement cinq, savoir :

1° la sarcosine, $C^3H^7AzO^2$, où le rapport atomique du carbone à l'azote est égal à 3,7, c'est-à-dire le même que dans l'albumine;

2° l'asparagine, $C^4H^8Az^2O^3$, où ce rapport est 2 : 1 ;

3° la glycollamine, $C^2H^3AzO^2$, où ce rapport est le même que le précédent ;

4° l'allantoïne, $C^4H^6Az^4O^3$, où ce rapport est 1 : 1 ;

5° enfin l'urée, CH^4Az^2O, où ce rapport est celui de $\frac{1}{2}$: 1.

Envisageons une combustion incomplète, donnant naissance à l'un des composés azotés définis

que je viens de citer, et telle que le surplus du carbone et de l'hydrogène de l'albumine soit changé en acide carbonique gazeux et eau, l'azote demeurant à l'état de combinaison dissoute. En opérant sur 1 gramme d'albumine, il se dégagera :

Principes azotés	Calories	Poids d'oxygène absorbé	Poids de CO^2 formé	Rapport $CO^2 : O$ en volume
Sarcosine . . .	+ 1Cal,00	0gr,260	0gr,380	1,07
Asparagine. . .	+ 3, 07	0, 830	0, 991	0,86
Glycollamine . .	+ 2, 96	0, 826	0, 967	0,85
Allantoïne . . .	+ 4, 53	1, 298	1, 408	1,00
Urée	+ 4, 60	1, 392	1, 665	0,70
Azote libre . . .	+ 5, 77	1, 675	1, 925	0,84

Dans des oxydations moins avancées, donnant par exemple naissance à du glucose et à de l'urée, la chaleur dégagée peut tomber à + 0Cal,3, l'oxygène consommé à 0gr,180; l'acide carbonique étant nul.

La déperdition est plus forte encore, pour le cas où les 15 ou 20 centièmes de l'azote total sont susceptibles d'être éliminés sous d'autres formes, telles que l'acide urique, ou l'acide hippurique.

Soit l'acide urique notamment, chaque atome

(14 grammes) de l'azote éliminé sous cette forme donnera lieu dans la combustion à un déficit de $115^{Cal},2$, tous corps séparés de l'eau ; ce déficit surpasserait 122 Calories, si l'acide carbonique demeurait dissous. L'influence des autres composés polyazotés serait analogue (voir plus haut).

Avec l'acide hippurique, la perte de chaleur est bien plus élevée encore, en raison de la richesse de ce corps en carbone. En effet, calculée d'après l'azote seul, elle s'élèverait à $1012^{Cal},9$ par chaque atome d'azote (14 grammes) éliminée sous cette forme, tous les corps séparés de l'eau. Elle monterait même à 1079 Calories, tous corps dissous. En réalité, elle est plus forte que ce calcul ne l'indique; attendu que la formation de l'acide hippurique exige la formation de composés complémentaires autres que l'eau et l'acide carbonique (voir p. 75). Il y aurait dès lors un déficit thermique très considérable, observable chez les herbivores; si, par compensation, une portion de l'azote n'était pas éliminée, comme il est probable, à l'état libre dans leur intestin : ce point n'est pas, d'ailleurs, entièrement éclairci.

En tout cas, le déficit correspondant à l'excrétion de l'acide urique est déjà très notable et il rend compte, jusqu'à un certain point, de l'in-

fluence d'un excès d'alimentation pour former de semblables produits de combustion incomplète ; il explique dès lors les perturbations physiologiques et pathologiques si caractérisées, qui en accompagnent l'apparition.

CHAPITRE IV

—

CHALEUR DE FORMATION ET DE COMBUSTION DES CORPS ALBUMINOIDES ET CONGÉNÈRES CONTENUS DANS LES ÊTRES VIVANTS : LEUR ROLE DANS LA PRODUCTION DE LA CHALEUR ANIMALE (1)

Les principes azotés forment la masse dominante des tissus animaux et ils jouent dans le développement des végétaux un rôle essentiel. Leur importance en Chimie physiologique, spécialement pour la production de la chaleur animale, ne saurait être exagérée : c'est ce qui nous a engagés à en mesurer la chaleur de combustion dans la bombe calorimétrique. L'opéra-

(1) Les expériences ont été faites avec la collaboration de M. André.

tion est prompte, facile, précise, comme d'ordinaire.

On croit devoir reproduire ici tout le détail des expériences, à cause de l'intérêt du sujet pour les études qui font l'objet du présent ouvrage.

La comparaison des résultats demande quelque précaution, parce qu'elle ne saurait être rapportée à des formules moléculaires certaines, celles des matières albuminoïdes étant fort élevées et controversées. De là la nécessité de s'en tenir aux mesures relatives à l'unité de poids, sans remonter jusqu'à des poids moléculaires douteux : réserve d'autant plus imposée qu'il s'agit de principes fixes et incristallisables, dont la pureté absolue ne saurait être garantie au même degré que celle des corps définis volatils ou cristallisés. Il y a plus : l'état d'hydratation, et par suite la richesse même en carbone et autres éléments, varie de plusieurs centièmes, pour un poids donné de matière, suivant la température à laquelle les albuminoïdes ont été desséchés. C'est pourquoi nous avons cru utile de rapporter toutes nos chaleurs de combustion, non seulement à 1 gramme de matière, mais surtout et de préférence à 1 gramme de carbone; la proportion de cet élément donnant lieu à des comparaisons plus assurées.

En effet, les chaleurs de formation depuis les éléments sont aisées à calculer, lorsqu'on connaît les chaleurs de combustion. Elles peuvent être évaluées, soit pour l'unité de poids du principe immédiat, soit pour l'unité de poids de l'un des éléments, tel que le carbone, ou l'azote;

Soit pour les poids moléculaires du dit principe immédiat, tel qu'on l'a envisagé.

Mais elles sont influencées à un tel degré par les moindres impuretés, et les poids moléculaires eux-mêmes sont si incertains, que l'évaluation exacte de ces chaleurs de formation, rapportées aux poids moléculaires, ne nous a pas paru comporter beaucoup d'intérêt, dans l'état présent de la science. Quant à l'emploi des chaleurs de combustion, dans le calcul de la chaleur animale, il est subordonné à la nature des produits éliminés par l'économie, et spécialement à la forme sous laquelle l'azote est rejeté au dehors. Nous avons donné ce calcul pour le cas le plus général, celui où l'azote se sépare sous forme d'urée, en rapportant les résultats, tant à l'unité de poids de la matière animale, et spécialement des produits usités comme aliments, qu'à l'unité de poids du carbone que ces produits renferment.

Exposons d'abord les résultats observés avec

les seize matières azotées ou principes immédiats qui suivent :

Albumine d'œuf,	Jaune d'œuf,
Fibrine du sang,	Fibrine végétale
Chair musculaire,	Gluten,
Hémoglobine,	Colle de poisson,
Caséine du lait,	Fibroïne,
Osséine,	Laine,
Chondrine,	Chitine,
Vitelline,	Tunicine.

Nous avons préparé nous-mêmes douze de ces principes ; quatre nous ont été donnés fort obligeamment par M. Schützenberger, qui les avait préparés en vue de ses recherches classiques sur les albuminoïdes.

Pour chacun, nous signalerons en général :

1° Le procédé de préparation ;

2° L'analyse du produit mis en œuvre ; chose indispensable pour des substances de ce genre, dont l'état d'hydratation varie suivant le procédé de préparation et le mode de dessiccation ;

3° La chaleur de combustion rapportée, d'une part, à 1 gramme de matière, et, d'autre part, à un poids de matière contenant 1 gramme de carbone : ce qui fournit, ainsi qu'il a été dit, un procédé de comparaison plus assuré et indépendant de toute supposition sur l'état d'hydratation.

Cette combustion est totale, dans nos expériences ; c'est-à-dire que, non seulement le car-

bone est ramené à l'état d'acide carbonique et l'hydrogène à l'état d'eau ; mais le soufre est changé en acide sulfurique étendu, et le phosphore en acide phosphorique. Nous avons spécialement vérifié qu'il en est ainsi pour les combustions accomplies dans la bombe calorimétrique.

Enfin, on a rapporté les chaleurs de combustions obtenues, à la réaction d'un poids donné de matière, tel qu'un gramme sur l'oxygène à volume constant ; puis on les a réduites à leur valeur, à pression constante, par un procédé de calcul certain : c'est-à-dire fondé uniquement sur la connaissance de la composition centésimale de la matière brûlée, et indépendant de toute formule hypothétique, ainsi qu'il sera exposé plus loin, en parlant de l'albumine.

On donnera également le calcul des chaleurs de combustion, évaluées pour le cas où tout l'acide carbonique demeurerait dissous : ce qui est le cas des combustions opérées dans la profondeur des tissus vivants. Puis on fera un calcul analogue, en supposant l'azote éliminé à l'état d'urée dissoute, comme il arrive pour la majeure partie du poids de cet élément, tel qu'il est éliminé au sein de l'économie humaine. Enfin le dernier calcul sera fait dans une double hypothèse, celle où l'acide carbonique, produit en même temps

que l'urée, se dégage aussitôt dans l'état gazeux, et celle où cet acide carbonique demeurerait dissous.

Observons que la dernière hypothèse fournit des données plus voisines de celles qui déterminent la production locale de la chaleur animale, dans les conditions physiologiques.

Entrons dans le détail.

I. ALBUMINE

Nous avons opéré sur de l'albumine d'œuf coagulée et desséchée à 100°, préparée et purifiée par M. Schützenberger.

Voici les résultats que nous ont fournis nos analyses de ce produit, en centièmes :

Éléments	1	2	3	Moyenne
C . . .	51,51	//	51,82	51,77
H . . .	6,91	//	7,15	7,03
Az (1) . .	15,43	//	//	15,43
S(2). . .	1,66	1,59	1,59	1,62
O . . .	//	//	//	24,15
				100,00
Cendres en plus				1,01

(1) Dosé par la chaux sodée.

(2) Dosé dans la bombe à l'état d'acide sulfurique ; c'est-à-dire après combustion par l'oxygène comprimé à 25 atmosphères.

La richesse en carbone de l'albumine analysée par les différents auteurs varie et s'élève jusqu'à 54 centièmes. Mais ce dernier nombre a été observé sur des échantillons desséchés à 140°, au lieu de 100°. L'hydrogène et l'azote concordent sensiblement. De même, le soufre dosé par les anciennes méthodes (de 1,9 à 1,6 suivant les auteurs).

Voici les combustions opérées dans la bombe calorimétrique, sur l'échantillon précédent. Les poids sont rapportés, par le calcul, à la matière privée de cendres :

Données	I	II	III	IV
p	$0^{gr},9833$	0,8718	0,9138	0,9473
$\Sigma\mu$	2399,3	2399,3	2399,3	2399,3
Δt	$2°,347$	2,115	2,182	2.231
Q'	$5631^{cal},16$	5074,52	5235,27	5352,84
Fer. . . .	22,4	22,4	22,4	22,4
Ac. azot. (dosé).	19,9 $\}$ $42^{cal},3$	17,6 $\}$ $40^{cal},0$	18.5 $\}$ $40^{cal},9$	19,1 $\}$ $41^{cal},5$
Q	5588,86	5034,52	5194,37	5311,34
Pour 1gr à v.c.	$5683^{cal},7$	$5774^{cal},6$	5684,3	5606,8
Moyenne pour 1 gramme à volume constant.				$5687^{cal},4$

Ce chiffre se rapporte à 1 gramme, brûlé à volume constant, vers 9°; le soufre étant changé en acide sulfurique étendu, et l'acide carbonique dégagé sous forme gazeuse.

Il est facile de rapporter la chaleur de combustion de l'albumine à une pression constante, sans faire intervenir aucune formule hypothétique.

En effet, $24^{gr},15$ d'oxygène contenu dans l'albumine employée suffisent à brûler $3^{gr},02$ d'hydrogène. Le surplus de la combustion est effectué par l'oxygène libre. Or celui qui brûle le carbone (1) n'entre pas en compte, car il fournit sensiblement un volume d'acide carbonique égal au sien : ce qui ne change pas la pression.

Reste dès lors à tenir compte de l'oxygène qui disparaît, en formant d'une part de l'eau, aux dépens de l'excès d'hydrogène, et, d'autre part, de l'acide sulfurique étendu, aux dépens du soufre. Cela fait, pour les $4^{gr},01$ d'hydrogène excédent, $32^{gr},04$ d'oxygène, ou une molécule sensiblement : ce qui répond à un accroissement de chaleur dégagée égal à $0^{Cal},56$, à 9° ; plus, pour $1^{gr},62$ de soufre, $2^{gr},43$ d'oxygène, ou $\frac{3}{10}$ de molécule sensiblement : ce qui répond encore à $0^{Cal},04$: en tout $+ 0^{Cal},60$.

Mais l'azote qui devient libre dans la combustion produit un effet inverse : soit pour $15^{gr},4$ ou $\frac{55}{100}$ de molécule : $- 0^{Cal},31$.

(1) Il en serait autrement avec une matière contenant trop peu d'hydrogène ; mais le calcul, quoique un peu différent, est également aisé à réaliser d'après les mêmes principes.

L'effet total, c'est-à-dire la différence entre les chaleurs de combustion à pression constante et à volume constant répond donc, en définitive, à $0^{Cal},29$, pour 100 grammes d'albumine brûlée ; soit pour 1 gramme : $2^{cal},9$.

La *chaleur de combustion* de l'albumine employée dans ces expériences, étant rapportée à une pression constante, pour l'unité de poids de la matière employée, devient dès lors : $5\,690^{cal},3$.

On voit combien cette correction est petite, et comprise dans la limite des erreurs d'expérience. Elle est d'ailleurs à très peu près la même pour les autres principes albuminoïdes et elle tend à devenir nulle pour les principes, tels que la chitine, dont la composition se rapproche des hydrates de carbone.

Dans le cas où l'on admettrait que l'acide carbonique est demeuré entièrement dissous (1), la

(1) Douze grammes de carbone produisent une molécule d'acide carbonique, laquelle dégage 5 600 calories, en se dissolvant dans un liquide aqueux. Dès lors, on calcule la chaleur de dissolution, pour le poids de l'acide carbonique produit dans le cas actuel, d'après la formule suivante :

$$\frac{P}{12} \times 5600 \text{ calories} = 466^{cal},7 \times P.$$

P étant le poids du carbone contenu dans 1 gramme de matière. Pour $0^{gr},518$ de carbone, cela fait $241^{cal},7$.

chaleur dégagée par la combustion de 1 gramme d'albumine s'élèverait à 5 932 calories.

L'albumine analysée contenait 51,8 centièmes de carbone (p. 100). Si on rapportait les calculs à une albumine renfermant 52,5 de carbone; comme on l'a fait dans d'autres parties du présent ouvrage, sa chaleur de combustion deviendrait 5 767 calories. On voit la nécessité de tout rapporter au poids de carbone.

Pour un poids d'albumine contenant 1 gramme de carbone, la chaleur de combustion à pression constante sera, en définitive, l'acide carbonique étant gazeux. . . . . 10 991 calories.

S'il était dissous, on aurait : 11 458 calories.

Cela ferait pour le poids moléculaire correspondant à la formule $C^{72}H^{112}Az^{18}SO^{22}$ de Lieberkühn, l'acide carbonique étant gazeux 9 497 Calories.

Cet acide supposé dissous . . . 10 002;

Pour l'une des formules de M. Schützenberger:

$C^{240}H^{387}Az^{65}S^{3}O^{75}$: CO^2 gaz : 32 546 calories ;
CO^2 dissous . . . . . 33 990 calories.

La *Chaleur de formation* de l'albumine par les éléments, depuis le carbone-diamant, est facile à déduire des chiffres ci-dessus. On obtient:

874 calories pour 1 gramme d'albumine ;

Et 1 689 calories, pour le poids d'albumine qui renferme 1 gramme de carbone.

soit, pour la formule de Lieberkühn : 1 460 Cal.

Et pour celle de M. Schützenberger : 4 866 Cal.

Le tout sous les réserves signalées plus haut.

C'est surtout dans l'étude des dédoublements, opérés par la méthode de M. Schützenberger, que les derniers chiffres prennent de l'intérêt.

Combustion avec formation d'urée. — L'azote étant éliminé sous forme d'urée dissoute, la chaleur de combustion, rapportée à 1 gramme d'albumine pure (de la composition ci-dessus), diminue de 833 calories. Ce qui la réduit à 4 857 calories, à pression constante, l'acide carbonique supposé gazeux.

Si cet acide était dissous, on aurait... 5 099 cal.

Si on rapporte la chaleur de combustion au poids d'albumine qui contient 1 gramme de carbone, sa valeur absolue, diminue de 1 610 calories, lorsqu'on la rapporte à l'urée : cela la réduit, CO^2 étant gazeux, à . . 9 381 calories ;

CO^2 et urée dissous à . . . 9 985 calories.

L'élimination de l'azote de l'albumine sous forme d'urée fait donc perdre près de 15 centièmes, ou 1 septième environ de la chaleur de combustion totale de cette substance.

La perte dépasserait 20 centièmes, si l'azote était éliminé sous la forme d'acide urique.

Le tableau suivant résume les indications précédentes :

Chaleur de combustion, à pression constante							
Combustion totale, l'azote éliminé à l'état gazeux				Combustion, l'azote éliminé sous forme d'urée dissoute			
Pour 1 gramme d'albumine		Pour 1 gramme de carbonne de l'albumine		Pour 1 gramme d'albumine		Pour 1 gramme de carbone de l'albumine	
CO^2 gaz.	CO^2 dissous	CO^2 gaz.	CO^2 dissous	CO^2 gaz.	CO^2 dissous	CO^2 gaz.	CO^2 dissous
Cal	Cal	Cal	Cal	Cal	Cal	Cal	Cal
5690,6	5932	10991	11458	4857	5099	9381	9985

Observons en terminant que les chiffres précédents sont applicables à tout échantillon d'albumine, lorsqu'on le rapporte à 1 gramme de carbone brûlé. Mais si l'on opérait avec un échantillon desséché, de façon à renfermer une proportion centésimale de cet élément, supérieure ou inférieure à 51,77 centièmes, il fau-

drait accroître ou augmenter proportionnellement les chaleurs de combustion et de formation.

La même remarque s'applique à tous les principes azotés qui vont suivre; mais leur analyse étant donnée, le calcul exact est facile.

II. FIBRINE DU SANG

Nous avons opéré sur la fibrine du sang de veau, recueillie à l'abattoir de la Villette et apportée aussitôt au Laboratoire du Collège de France. On l'a lavée et malaxée avec de l'eau, jusqu'à ce que celle-ci passât incolore, c'est-à-dire jusqu'à élimination totale du sang interposé. On l'a séchée alors vers 100°, au bain-marie; puis on l'a épluchée à la main, pour la débarrasser de diverses impuretés, mélangées mécaniquement. On l'a alors épuisée par l'éther, de façon à éliminer la graisse; puis on l'a séchée à 115°. Dans cet état, elle s'est laissée pulvériser; puis on l'a desséchée de nouveau, à la même température.

Voici la composition de l'échantillon qui avait subi ces traitements et sur lequel les combustions ont été opérées :

Composition des échantillons

Éléments	I	II	Moyenne
C.	51,17	51,10	51,13
H	6,88	6,93	6,90
Az(1)	17,57	17,43	17,50
S(2)	1,19		1,19
O			23,28
			100,00
Cendres en plus			1,23

Trois combustions ont été exécutées dans la bombe calorimétrique (les cendres étant déduites des poids donnés ci-dessous) :

Données	I	II	III
p	1gr,0917	0,9757	1,0779
$\Sigma\mu$	2399,5	2399,5	2399,5
Δt.	2°,524	2,262	2,515
Q'.	6056,34	5427,67	6034,74
Fer	22,4	22,4	22,4
Acide azot. dosé.	21,1(3) } 4cal,35	18,8 } 41cal,2	19,7 } 42cal,7
Q	6012cal,84	5386,47	5992,04
Pour 1gr à v. c.	5507cal,7	5520,6	5558,9

Moyenne pour 1 gramme : 5529cal,1 à volume constant. — 5532cal,4 à pression constante. — 5760cal,4 CO^2 dissous. } CO^2 gaz

(1) Dosé en volume ; procédé Dumas.

(2) Dosé dans la bombe, sous forme d'acide sulfurique.

(3) Dosé par la différence du titre acide, comme plus

On aura, pour le poids de fibrine qui contient 1 gramme de carbone brûlé, à pression constante,

CO^2 dissous . . . . . 10 820 calories;

CO^2 gaz . . . . . 11 287 calories.

Chaleur de formation par les éléments. — Pour 1 gramme de fibrine . . 918 calories.

Pour le poids de fibrine contenant 1 gramme de carbone . . . . . 1 796 calories.

Combustion avec formation d'urée. — La perte en chaleur, pour 1 gramme de fibrine, est de 946 calories; ce qui réduit la chaleur de combustion, à pression constante : CO^2 et urée dissous, 4 586 calories; CO^2 gaz, 4 824 calories.

Pour le poids de fibrine contenant 1 gramme de carbone, la chaleur de combustion devient

CO^2 gaz . . . . . 8 970 calories;

CO^2 et urée dissous . . . 9 437 calories.

III. CHAIR MUSCULAIRE

Viande de bœuf (filet) hachée, lavée à l'alcool, puis à l'éther, séchée, pulvérisée, séchée à 115°.

---

haut. Dans la combustion (II), on a en outre dosé spécialement l'acide azotique, sous forme de bioxyde d'azote : le résultat ($0^{gr},0712$ Az^2O^5) a été concordant avec le dosage indirect.

Composition de l'échantillon, sur 100 *parties*:

Éléments	I	II	III	Moyenne
C . . .	53,74	53,68		53,71
H . . .	7,30	7,47		7,38
Az(1) . .	18,19			18,19
S(2). . .	1,09	1,19(2)	1,26(3)	1,18
P(3) . .	0,67	0,62		0,65
O . . .				18,89
				100,0

Cendres en plus 2,45

Trois combustions dans la bombe calorimétrique :

Données	I	II	III
p	1gr,1142	1gr,2351	1gr,2589
$\Sigma\mu$	2399,5	2399,5	2399,5
Δt	2°,676	2°,980	3°,016
Q'.	6421,06	7150,5	7236,89
Fer	22,4 } 44cal,5	22,4 } 46cal,9	22,4 } 47cal,4
Acide az. dosé.	22,1 }	24,5 }	25,0 }
Q.	6376,6	7103,6	7189,5
Pour 1gr à v. c.	5722cal,9	5751,4	5710,9

Moyenne pour 1 gramme { 5728cal,4 à volume constant. / 5731cal,4 à pression constante. } CO^2 gaz
6017cal,8 CO^2 dissous.

(1) En volume.
(2) Combustion dans la bombe.
(3) Détermination au moyen du carbonate de soude

Pour le poids de chair qui contient 1 gramme de carbone : à pression constante

CO^2 gaz . . . . . 10 671 calories ;

CO^2 dissous . . . . . 11 138 calories.

Chaleur de formation par les éléments. — Pour 1 gramme de chair. . 1 137 calories.

Pour le poids de chair contenant 1 gramme de carbone . . . . . 2 117 calories.

Combustion avec formation d'urée. — Perte en chaleur, pour 1 gramme de chair : 982 calories ; ce qui réduit la chaleur de combustion, à pression constante, aux valeurs suivantes :

CO^2 gaz. . . . . 4 749 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 5 036 calories.

Pour le poids de chair contenant 1 gramme de carbone, perte en chaleur . 1 830 calories.

Chaleur de combustion correspondante :

CO^2 gaz. . . . . 8 841 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 9 308 calories.

---

et de l'oxygène, *Ann. de Ch. et de phys.*, 6e série, t. XV, p. 121).

Les procédés d'analyse étant les mêmes pour tous les corps azotés, on n'en reproduira pas l'indication dans ce qui suit.

IV. HÉMOGLOBINE DU CHEVAL (1).

Séchée à 115°. *Composition de l'échantillon :*

Éléments	I	II	Moyenne
C	55,54	55,44	55,48
H	7,18	7,42	7,30
Az	17,64	//	17,64
S	1,11	//	1,11
P	0,82	//	0,82
O	//	//	17,62
Cendres insensibles			

Trois combustions :

Données	I	II	III
p	1gr,0776	0gr,9325	1gr,0957
$\Sigma\mu$	2 399,5	2 399,5	2 399,5
Δt	2°,672	2°,310	2°,722
Q′	6 411cal,46	5 547,56	6 531,44
Fer	22,4	22,4	22,4
Acide azot.	23,0 } 45cal,4	20 } 42cal,4	23,4 } 45cal,8
Q	6 366cal,1	5 505,2	6 485,6
Pour 1gr a v. c	5 907cal,4	5 903,4	5 919,1

Moyenne pour 1 gramme : 5 910cal, à volume constant. — 5 914cal,8 à pression constante. — 6 173cal,9 CO^2 dissous. } CO^2 gaz

(1) Donnée par M. Bouchardat.

Valeur rapportée à 1 gramme de carbone, à pression constante :

CO^2 gaz . . . . . 10 617 calories ;

CO^2 dissous . . . . . 11 084 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1 gramme d'hémoglobine . . . 1 066^{cal}.

Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone : 1 931^{cal},4.

Combustion avec formation d'urée : pour 1^{gr} d'hémoglobine (en moins, 951), à pression constante :

CO^2 gaz. . . . . 4 964 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 5 223 calories.

Pour 1^{gr} de carbone, etc. (en moins, 1 715) :

CO^2 gaz. . . . . 8 902 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 9 369 calories.

V. CASÉINE DU LAIT [1]

Séchée à 115°. *Composition de l'échantillon* :

Éléments	I	II	III	IV	Moyenne
C	50,83	//	50,79	//	50,81
H	6,92	//	7,07	//	7,00
Az	15,37	//	//	//	15,37
S	1,58	1,62	1,61	1,70	1,63
P	1,18	//	//	//	1,18
O	//	//	//	//	24,01
Cendres en plus. . .			0,64		

[1] Donnée par M. Schützenberger.

Combustions données	I	II	III	IV
p	0gr,8189	0,8414	0,8726	0,8545
$\Sigma\mu$	2399,3	2399,3	2399,3	2399,3
Δt	1°,925	2°,009	2°,072	2°,009
Q	4618,65	4820,19	4971,35	4820,19
Fer	22,4	22,4	22,4	22,4
Acide azotique	19,4 } 41cal,8	20,2 } 42cal,6	20,7 } 43cal,1	20,3 } 42cal,7
Q	4576,85	4777,59	4928,25	4777,49
Pour 1 gramme à vol. constant	5589,0	5678,1	5647,7	5530,9

Moyenne pour 1 gramme. . . . . { 5626cal,4 à volume constant. / 5678cal,2 à pression constante. / 5868cal CO^2 dissous. } CO^2 gaz

Valeur rapportée à 1 gramme de carbone, etc. :

CO^2 gaz . . . . . 11 080 calories ;

CO^2 dissous . . . . . 11 547 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1^{gr} de caséine . . . . . $927^{cal},5$.

Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone . 1825^{cal}.

Combustion avec formation d'urée : pour 1^{gr} de caséine (830, en moins) à pression constante :

CO^2 gaz . . . . . 4 799 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 5 038 calories.

Pour 1 gramme de carbone, etc. (en moins, 1600) :

CO^2 gaz . . . . . 9 580 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 9 947 calories.

VI. OSSÉINE (1)

Séchée à 115°. *Composition de l'échantillon* :

Éléments	I	II	Moyenne
C	50,16	50,05	50,10
H	6,99	7,03	7,01
Az	17,91	//	17,91
S	0,38	0,38	0,38
O	//	//	24,60
Cendres en plus			0,29

(1) Donnée par M. Schützenberger. Purifiée par l'éther.

Trois combustions dans la bombe calorimétrique :

Données	I	II	III
p	0gr,8274	0gr,7855	0gr,9069
$\Sigma\mu$	2399,3	2399,3	2399,3
Δt	1°,878	1°,791	2°,060
Q'	4505,cal,89	4297,15	4942,56
Fer	22,4	22,4	22,4
Acide azot. . .	15,1 } 37cal,5	14,4 } 36cal,8	16,6 } 39cal,0
Q	4468,39	4260,35	4903,56
Pour 1gr à v. c. .	5400,5	5423,7	5406,9
Moyenne pour 1 gramme.	5410cal,4 à volume constant.		CO² gaz
	5414cal à pression constante.		
	5647cal,8 CO² gaz.		

Valeur rapportée à 1gr de carbone, etc., à pression constante :

CO² gaz . . . . . 10 806 calories ;
CO² dissous . . . . . 11 273 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1gr d'osséine . . . . . 954cal.
Valeur rapportée à 1gr de carbone. . 1 904cal.

Combustion avec formation d'urée : pour 1 gramme (en moins, 970), à pression constante :

CO^2 gaz.	4 544 calories ;
CO^2 dissous.	4 678 calories.

Pour 1 gramme de carbone, etc. (en moins, 1 930) :

CO^2 gaz.	8 976 calories ;
CO^2 et urée dissous . . .	9 343 calories.

VII. CHONDRINE DE VEAU.

Cartilages costaux du veau, finement découpés et mis à bouillir avec de l'eau pendant une heure environ ; décantation ; le résidu mis de nouveau à bouillir, etc. Ces opérations ont été répétées six à sept fois sur 500 grammes de cartilages.

Toutes les eaux étant évaporées au bain-marie, le résidu se prend en masse. Division de la masse et séchage au bain-marie, jusqu'à ce que la matière prenne un aspect corné et dur. Cette matière a été broyée, puis traitée par l'alcool et l'éther, enfin séchée à 115°.

Composition de l'échantillon (séché à 115°) :

Éléments	I	II	III	IV	V	VI	Moyenne
C . . .	52,01	51,50	50,46	50,66	50,58	50,13	50,89
H . . .	7,09	7,22	7,33	7,11	6,98	7,12	7,14
Az . .	15,60	//	//	//	//	//	//
S . . .	1,91	2,02	//	//	//	//	2,00
P . . .	0,49	0,42	//	//	//	//	0,45
O . . .	//	//	//	//	//	//	23,93
Cendres en plus.						6,35	

Trois combustions dans la bombe calorimétrique.

Données	I	II	III
p	1gr,0731	1gr3885	0gr,9399
$\Sigma\mu$	2399,5	2399,5	2399,5
$\Delta' t$	2°,370	3°,082	2°,081
Q'	5763,60	7472,04	5055,75
Fer	22,4 | 37cal,9	22,4 | 42cal,4	22,4 | 36cal,0
Acide azot. . .	15,5 |	20 |	13,6 |
Q	5725,7	7429,6	5019,7
Pour 1gr à v. c.	5335,6	5350,8	5340,7

Moyenne pour 1 gramme { 5342cal,4 à volume constant. / 5345cal,8 à pression constante. / 5583cal,8 CO^2 dissous. } CO^2 gaz

Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone, etc. : à pression constante,

CO^2 gaz	10 544 calories ;
CO^2 dissous	11 011 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1 gramme de chondrine. . . 1 226 calories.

Combustion avec formation d'urée : pour 1 gramme de chondrine (en moins, 840) : à pression constante :

CO^2 gaz.	4 506 calories ;
CO^2 et urée dissous . . .	4 744 calories.

Pour 1 gramme de carbone, etc. (en moins, 1 620) :

CO^2 gaz.	8 924 calories ;
CO^2 et urée dissous . . .	9 391 calories.

VIII. VITELLINE.

Le jaune d'œuf coagulé par la chaleur, divisé, séché dans le vide (voir plus loin), a été traité par l'alcool froid, jusqu'à ce que ce liquide ne se colorât plus, puis ensuite par l'éther, jusqu'à disparition de la matière grasse. Séché dans le vide à la température ordinaire.

Composition de l'échantillon :

Éléments	I	II	Moyenne
C	52,01	51,60	51,80
H	7,61	7,50	7,55
Az.	15,47	//	15,47
S	1,26	1,25	1,25
P	1,66	//	1,66
O	//	//	22,27
Cendres en plus			4,40

Trois combustions dans la bombe calorimétrique :

Données	I	II	III
p	1gr,0971	1,0474	1,0167
$\Sigma\mu$	2399,5	2399,5	2399,5
Δt.	2°,659	2,542	2,467
Q'.	6380,27	6099,53	5919,57
Fer	22,4 } 38cal,6	22,4 } 38cal,0	22,4 } 37cal,5
Acide azotique	16,2 }	15,1 }	15,1 }
Q	6341,7	6061,5	5882,1
Pour 1gr à v. c.	5780cal,4	5776,5	5785,4

Moyenne pour 1 gramme { 5780cal,6 à volume constant. / 5784cal,1 à pression constante. / 6025cal,8 CO^2 dissous. } CO^2 gaz

Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone, etc. :

CO^2 gaz . . . . . 11 166 calories ;

CO^2 dissous . . . . . 11 633 calories.

Chaleur de formation par les éléments ; pour 1 gramme de vitelline . . . . . 1 055^{cal}.

Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone . 2 037^{cal}.

Combustion avec formation d'urée : pour 1 gramme de vitelline (en moins, 830) à pression constante :

CO^2 gaz . . . . . 4 954 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 5 195 calories.

Pour 1 gramme de carbone, etc. (en moins, 1 870) :

CO^2 gaz. . . . . 8 576 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 9 763 calories.

IX. JAUNE D'ŒUF

Nous avons cru utile de joindre à la détermination précédente celle du jaune d'œuf brut, coagulé par la chaleur, puis divisé et séché à froid dans le vide pendant plusieurs jours, en divisant chaque jour la matière.

L'importance de cette substance, au point de vue de la nutrition de l'embryon, est toute particulière.

Composition de l'échantillon, sans aucun autre traitement (c'est-à-dire avec les matières grasses) :

Éléments	1	2	3	Moyenne
C	67,14	67,93	67,16	67,41
H	10.37	10,14	10,10	10,20
Az	7,65	//	//	7,65
S	0,47	0,30	//	0,39
P	1,82	//	//	1,82
O	//	//	//	12,53
Cendres en plus.				2,64

Trois combustions dans la bombe calorimétrique :

Données	I	II	III
p	1gr,0460	0,9653	1,1272
$\Sigma\mu$	2399,5	2399,5	2399,5
Δt.	3°,547	3,273	3,841
Q'.	8511,03	7853,56	9216,48
Fer	22,4	22,4	22,4
Acide azot. . .	16,5 } 38cal,9	15,2 } 37cal,6	17,8 } 40cal,2
Q	8472,1	7816,0	9171,3
Pour 1gr à v. c. .	8099cal,5	8096,9	8140,7

Moyenne pour 1 gramme { 8 112cal,4 à volume constant. / 8 124, 2 à pression constante. / 8 538, 7 CO^2 dissous. } CO^2 gaz

Valeur rapportée à 1 gramme de carbone, etc., à pression constante :

CO^2 gaz	12 052 calories ;
CO^2 dissous	12 519 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1 gramme de jaune d'œuf . . . . 828^{cal}.
Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone . $1\,228^{cal}$.

Combustion avec formation d'urée : pour 1 gramme de jaune d'œuf (en moins, 420), à pression constante.

CO^2 gaz.	7 704 calories ;
CO^2 et urée dissous . . .	8 119 calories.

Pour 1 gramme de carbone, etc. (en moins, 620),

CO^2 gaz	11 632 calories ;
CO^2 et urée dissous. . .	11 899 calories.

Ces chiffres sont beaucoup plus forts que ceux de la vitelline, à cause de la présence des corps gras. Au contraire, la chaleur de formation par les éléments est plus faible, pour la même raison.

X. FIBRINE VÉGÉTALE.

Une portion du gluten de l'échantillon suivant (XI) a été séchée et concassée, puis traitée par l'alcool bouillant, jusqu'à ce que la liqueur filtrée ne donnât plus de dépôt ; puis on a traité par l'éther bouillant. On a séché à froid la matière, on l'a pulvérisée et séchée à 115°.

Composition de l'échantillon :

Éléments	1	2	Moyenne
C	53,73	53,69	53,71
H	7,23	7,39	7,31
Az.	17,44	17,43	17,43
S	1,10	0,97	1,05
P	0,39	//	0,39
O	//	//	20,11
Cendres en plus			0,28

Cinq combustions dans la bombe calorimétrique :

Données	I	II	III	IV	V
p	$0^{gr},9249$	1,0293	1,0930	0,9222	0,8965
$\Sigma\mu$	2399,5	2399,5	2399,5	2399,5	2399,5
Δt.	$2^{o},254$	2,523	2,666	2,280	2,187
Q'	5408,47	6054,12	6397,25	5471,02	5247,86
Fer	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4
Acide azotique	12,5 $\}34^{cal},9$	14,0 $\}36^{cal},4$	14,9 $\}37^{cal},3$	12,4 $\}46^{cal},3$	12,2 $\}44^{cal},35$
				coton-poudre 11,4	coton-poudre 9,75
Q	5373,6	6017,7	6360,0	5424,8	5203,5
Pour 1gr à v. c.	$5809^{cal},8$	5846,4	5818,8	5882,5	5804,2

La combustion de cette fibrine a donné lieu à des écarts plus sensibles qu'aucun autre principe albuminoïde ; ce qui nous a engagés à faire deux mesures spéciales, avec le concours d'une petite quantité de coton-poudre, ainsi qu'il est indiqué dans le tableau de la page précédente. Les résultats sont demeurés du même ordre de grandeur.

Moyenne pour 1 gramme. { 5832^{cal},3 à volume constant. / 5836, 5 à pression constante. / 6087, 1 CO^2 dissous. } CO^2 gaz

Valeur rapportée à 1 gramme de carbone, à pression constante :

CO^2 gaz . . . . . 10807 calories ;
CO^2 dissous . . . . . 11274 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1 gramme de fibrine végétale . . . 970^{cal}.
Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone. . 1806^{cal}.

Combustion avec formation d'urée : pour 1 gramme de fibrine végétale (en moins, 950), à pression constante :

CO^2 gaz . . . . . 4 986 calories ;
CO^2 et urée dissous . . . 5 137 calories.

Pour 1 gramme de carbone, etc. (en moins, 1 760),

CO^2 gaz . . . . . 9 047 calories ;
CO^2 et urée dissous . . . 9 514 calories.

XI. GLUTEN BRUT.

Retiré de la farine sous un filet d'eau ; puis repris, sous un filet d'eau, trois à quatre fois. Séché à froid, concassé, pulvérisé et séché de nouveau à 115°.

Composition de l'échantillon :

Éléments	1	2	Moyenne
C	54,98	55,25	55,11
H	7,61	7,39	7,53
Az	15,53	15,92	15,73
S	0,90	1,10	1,00
P	"	0,33	0,33
O	"	"	20,30
Cendres en plus			0,21

Quatre combustions :

Données	I	II	III	IV
p	257,1121	0,964	0,9447	0,9446
Σ t	2699,5	2699,5	2699,5	2699,5
Δt	2,856	2,856	2,856	2,852
ε	5930,92	5930,92	5925,37	5915,78
Eau	22,4	22,4	22,4	22,4
Az	3,8	3,8	22,8	12,9
acide	8,8	8,8	21,8	7,5
C	5756,1	5756,1	5668,4	5653,0
Pour 1gr	5961,1	5961,1	6000,1	5994,2

Moyenne pour 1 gramme. 5990cal,3 à volume constant. 5960,8 à pression contante. 6252 CO^2 dissous. } CO^2 gaz;

Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone, etc. : à pression constante :

CO^2 gaz	10 878 calories ;
CO^2 dissous	11 345 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1 gramme de gluten . . . $999^{cal},4$.
Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone. $1\,795^{cal}$.

Combustion avec formation d'urée : pour 1 gramme de gluten (en moins, 750), à pression constante :

CO^2 gaz	5 245 calories ;
CO^2 et urée dissous . . .	5 502 calories.

Pour 1 gramme de carbone (en moins, 1 540),

CO^2 gaz	9 338 calories ;
CO^2 et urée dissous . . .	9 805 calories.

XII. COLLE DE POISSON DE RUSSIE OU ICHTHYOCOLLE

Achetée dans le commerce ; traitée par l'éther froid, séchée à 115°.

Composition de l'échantillon :

Éléments	1	2	Moyenne
C.	48,52	48,55	48,53
H	6,92	6,91	6,91
Az	18,54	18,36	18,45
S	0,57	//	0,57
O	//	//	25,54
Cendres en plus.			0,74

Trois combustions dans la bombe calorimétrique :

Données	I	II	III
p.	1gr,1417	1,2108	1,1834
$\Sigma\mu$	2399,5	2399,5	2399,5
Δt	2°,516	2,655	2,606
Q'	6037,14	6370,67	6253,10
Fer	22,4	22,4	22,4
Acide azotique	} 43cal,6	} 44cal,9	} 44cal,4
(0gr,0831 AzO^5) . .	21,2	22,5	22,0
Q.	5993,7	6325,8	6208,7
Pour 1 gramme .	5249cal,6	5224,4	5246,4

Moyenne pour 1 gramme. { 5240cal,1 à volume constant. ; 5242 à pression constante ; 5268, 4 CO^2 dissous. } CO^2 gaz ;

Valeur rapportée à 1 gramme de carbone, etc., à pression constante :

CO^2 gaz . . . . . 10 800 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 11 267 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1 gramme d'ichthyocolle. . . 991^{cal}.

Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone. 2 026^{cal}.

Combustion avec formation d'urée : pour 1 gramme d'ichthyocolle (en moins, 1 050),

CO^2 gaz . . . . . 4 192 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 5 218 calories.

Pour 1 gramme de carbone (en moins, 2 160),

CO^2 gaz . . . . . 8 640 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 9 117 calories.

XIII. FIBROINE

Dégraissée à l'éther, séchée à 115°.

Composition de l'échantillon :

Éléments	1	2	Moyenne
C.	48,31	47,87	48,09
H	6,46	6,27	6,37
Az	17,96	//	17,96
S.	0,17	//	0,17
O	//	//	27,41
Cendres en plus.		0,35	

Trois combustions dans la bombe calorimétrique :

Données	I	II	III
p.	$0^{gr},8593$	0,8070	0,8744
$\Sigma\mu$	2399,5	2399,5	2399,5
Δt	$1^{o},852$	1,723	1,872
Q'	4443,87	4134,34	4491,86
Fer	22,4 $\}$ $41^{cal},0$	22,4 $\}$ $39^{cal},9$	22,4 $\}$ $41^{cal},3$
Acide azotique . .	18,6 $\}$ $0^{gr},0662$	17,5 $\}$	18,9 $\}$
Q.	4402,9	4094,4	4450,6
Pour 1 gramme à volume constant.	$5123^{cal},8$	5073,6	5089,8

Moyenne pour 1 gramme. $\left\{\begin{array}{l} 5095^{cal},7 \text{ à volume constant.} \\ 5097 \quad \text{à pression constante;} \\ 5321, \quad 5\ CO^2 \text{ dissous.} \end{array}\right.$ $\left\{\begin{array}{l} \\ CO^2 \text{ gaz;} \\ \\ \end{array}\right.$

Valeur rapportée à 1 gramme de carbone, à pression constante :

CO^2 gaz . . . . . 10 599 calories;

CO^2 dissous . . . . . 11 066 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1 gramme de fibroïne . . . 890^{cal}.

Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone. $1\,848^{cal}$.

Combustion avec formation d'urée : pour 1 gramme de fibroïne (en moins, 1 020) :

CO^2 gaz . . . . . 4 077 calories ;
CO^2 dissous. . . . . 4 201 calories.

Pour 1 gramme de carbone (en moins, 2 120),

CO^2 gaz . . . . . 8 479 calories ;
CO^2 et urée dissous . . . 8 946 calories.

XIV. LAINE

Dégraissée à l'éther ; donnée par M. Schützenberger ; séchée à 115°.

Composition de l'échantillon :

Éléments	1	2	Moyenne
C.	49,89	50,43	50,18
H	6,89	6,97	6,93
Az	18,29	//	18,29
S	3,71	3,59	3,65
P	0,0	//	//
O	//	//	20,97
Cendres en plus.			0,64

Cinq combustions, dont l'une a été perdue.

Données	I	II	III	IV
p	0gr,8782	0,9843	1,0006	0,9538
$\Sigma\mu$ . . .	2399,5	2399,5	2399,5	2399,5
Δt. . . .	2°,049	2,296	2370	2,198
Q'. . . .	4916,64	5509,30	5686,86	5274,14
Fer . . .	22,4	22,4	22,4	22,4
Ac. azot. .	13,3 } 3cal,57	14,9 } 3cal,73	15,1 } 37cal,5	14,4 } 36cal,8
Q	4880,94	5472,0	5649,36	5237,34
Pour 1gr à v.c.	5557cal,9	5559,2	5648.9	5491,0

Moyenne pour 1 gramme. { 5564cal,2 à volume constant. / 5567, 3 à pression constante. / 5801, 5 CO^2 dissous. } CO^2 gaz;

Valeur rapportée à 1 gramme de carbone, à pression constante :

CO^2 gaz . . . . . 11 099 calories ;
CO^2 dissous . . . . . 11 566 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1 gramme de laine . . . . . 928cal.
Valeur rapportée à 1gr de carbone. 1 849cal.

Combustion avec formation d'urée : pour 1 gramme de laine, (en moins 1 040), à pression constante :

CO^2 gaz . . . . . 4 537cal.
CO^2 et urée dissous. . . . . 4 841cal,5.

Pour 1 gramme de carbone (en moins, 2 090) :

CO^2 gaz . . . . . 9 009 calories ;
CO^2 et urée dissous . . . 9 476 calories.

XV. CHITINE

Carapaces de homards et de crabes, lavées à l'eau, bouillies ensuite avec de l'eau, puis épluchées et traitées par HCl dilué, froid d'abord, ensuite bouillant. Traitements répétés trois fois, puis traitement par la soude étendue à chaud. Lavage à l'eau. Dernier traitement par HCl concentré bouillant et lavage à l'eau. Séché à 115°.

Composition de l'échantillon :

Éléments	1	2	Moyenne
C.	46,76	46,89	46,82
H	6,77	6,75	6,76
Az	7,77	//	//
S.	0,15	//	0,15
Cendres en plus.		0,30	

Trois combustions dans la bombe calorimétrique :

Données	I	II	III
p.	1gr,3007	1,5751	1,3221
$\Sigma\mu$	2399,5	2399,5	2399,5
Δt	2,546	3,068	2,581
Q′	6109,13	7361,67	6193,11
Fer	22,4	22,4	22,4
Acide azotique . .	17,2 } 39cal,6	20,9 } 43cal,3	12,6 } 35cal,0
Q.	6069,5	7318,4	6158,1
Pour 1 gramme à volume constant.	4666cal,3	4646,2	4654,0

Moyenne pour 1 gramme. { 4655cal à volume constant et à pression constante ; CO^2 gaz ; 4873, 5, CO^2 dissous.

Valeur rapportée à 1 gramme de carbone, à volume constant et à pression constante :

CO^2 gaz . . . . . 9 943 calories ;

CO^2 dissous . . . . . 10 410 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1 gramme de chitine . . . . . 1 263cal.

Valeur rapportée à 1gr de carbone. 2 697cal.

Combustion avec formation d'urée : pour 1 gramme de chitine (en moins, 420), à pression constante et à volume constant :

CO^2 gaz . . . . . 4 235cal.

CO^2 et urée dissous. . . . . 4 453cal,5.

Pour 1 gramme de carbone (en moins, 900) :

CO^2 gaz . . . . . 9 043 calories ;

CO^2 et urée dissous . . . 9 510 calories.

XVI. TUNICINE

Ascidies (1), dont on a pris la tunique. Traitement par l'eau bouillante, puis par HCl concentré, trois à quatre fois ; puis par la soude étendue ; lavage à l'eau ; traitement de nouveau par HCl, lavage à l'eau prolongé, puis découpage en menus morceaux.

Derniers traitements par alcool et éther. Séché à 115°.

Composition de l'échantillon :

Éléments	1	2	Moyenne
C	45,41	45,69	45,55
H	6,56	6,65	6,60
Az	1,88	//	1,88
S.	0,50	//	0,50
P	0,14	//	0,14
Oxygène			45,33
Cendres.	4,49 en plus		

(1) Données obligeamment par M. Marion, professeur à la Faculté des Sciences de Marseille.

Quatre combustions dans la bombe calorimétrique :

Données	I	II	III	IV
p.	$1^{gr},3171$	1,1821	1,2317	1,3115
$\Sigma\mu$	2399,5	2399,5	2399,5	2399,5
Δt	$2°,298$	2,074	2,117	2,280
Q'	$5514^{cal},05$	$4976^{cal},56$	5079,74	5470,86
Fer	22,4	22,4	22,4	22,4
Acide azotique. .	10,9 $33^{cal},3$	9,8 $32^{cal},2$	10,3 $32^{cal},7$	10,9 $33^{cal},3$
Q.	$5481^{cal},7$	4944,4	5047,0	5437,6
Pour 1^{gr} à v. c. .	$4161^{cal},2$	4182,5	4097,6	4146,0

Moyenne pour 1 gramme. $4146^{cal},8$ à volume constant et à pression constante ; CO^2 gaz ; 4359, 3 CO^2 dissous.

Ce nombre est peu différent de la cellulose, qui nous a donné 4210 calories (CO^2 gaz).

Valeur rapportée à 1 gramme de carbone, à pression constante et à volume constant :

CO^2 gaz . . . . . 8 978 calories;

CO^2 et urée dissous . . . 9 445 calories.

Chaleur de formation par les éléments : pour 1 gramme de tunicine . . . . . $1\,741^{cal}$.

Valeur rapportée à 1^{gr} de carbone. $3\,822^{cal}$.

Combustion avec formation d'urée ; pour 1 gramme de tunicine (en moins, 100), à pression constante et à volume constant :

CO^2 gaz . . . . . 4 046^{cal},8 ;
CO^2 dissous . . . . . 4 259^{cal}.
Pour 1 gramme de carbone (en moins, 220) :
CO^2 gaz. . . . . 8 758 calories ;
CO^2 et urée dissous . . . 9 225 calories.

Le tableau suivant résume nos résultats :

Noms des matières	Chaleur de combustion				Pour 1 gramme carbone de la matière, l'azote étant éliminé sous forme d'urée		Déficit dans le cas de l'urée	
	Pour 1 gramme de matière		Pour 1 gramme carbone de la matière					
	CO^2 gaz	CO^2 dissous	CO^2 gaz	CO^2 dissous	CO^2 gaz	CO^2 dissous		
bumine . . .	5691	5932	10991	11458	9381	9985	15	cent.
brine du sang .	5532	5760	10820	11287	8970	9435	17	//
ıair musculaire (dégraissée). .	5731	6018	10671	11138	8841	9308	17	//
ɨmoglobine . .	5915	6174	10617	11084	8902	9369	16	//
.séine	5629	5868	11080	11547	9580	9947	15	//
séine	5414	5648	10806	11273	8976	9343	17	//
ıondrine . . .	5346	5584	10544	11011	8924	9391	15	//
telline . . .	5784	6026	11166	11633	8576	9763	14	//
une d'œuf . .	8124	8539	12052	12519	11632	11899	5	//
brine végétale.	5836,5	6087	10807	11274	9047	9514	16	//
uten brut . .	5995	6252	10878	11345	9338	9805	14	//
lle de poisson.	5242	5268	10800	11267	8640	9117	20	//
broïne . . .	5097	5321,5	10599	11066	8479	8946	20	//
ine	5567	5801,5	11099	11566	9009	9476	19	//
itine	4655,5	4873,5	9943	10410	9043	9510	9	//
ınicine . . .	4147	4359	8978	9445	8758	9225	2,4	//

D'après Stohmann, on a encore :

Noms des matières	Chaleur de combustion	
	Pour 1 gramme de matière	Pour 1 gramme de carbone
Albumine cristallisée. . .	5672	10804
Légumine	5793	10885
Syntonine	5908	11014
Peptone	5299	10576

La valeur moyenne de la chaleur de combustion pour les *corps albuminoïdes*, susceptibles de jouer un rôle alimentaire, tels que l'albumine, la fibrine du sang, l'hémoglobine, la chair musculaire, la caséine, l'osséine, la vitelline, la fibrine végétale, est

Pour 1 gramme de matière :

CO^2 gaz . . . . . 5 691 calories,

et pour un poids de ces substances contenant 1 gramme de carbone :

CO^2 gaz . . . . . 10 870 calories ;

CO^2 dissous . . . . . 11 337 calories ;

valeurs moyennes, qui peuvent être adoptées, les dernières surtout, pour les principes albuminoïdes en général.

La déperdition de chaleur, due à l'élimination de l'azote sous forme d'urée, s'élève en moyenne à 16 centièmes ; ou à un sixième environ de la chaleur de combustion totale de ces diverses substances.

Quant à l'évaluation de la chaleur de combustion des matières alimentaires et par conséquent de leur valeur alibile, telles qu'on les emploie dans la consommation, elle ne saurait être l'objet de calculs rigoureux, d'après la seule connaissance de leur poids, en raison de la variabilité de la quantité d'eau contenue dans ces matières.

Envisageons maintenant la chaleur de combustion moyenne des *hydrates de carbone*. D'après nos déterminations, elle s'élève à 682 Calories, pour les poids moléculaires des hydrates de carbone qui renferment 6 atomes de carbone. Cela fait, pour le poids des hydrates de carbone renfermant 1 gramme de carbone :

CO^2 étant gazeux	9 470 calories ;
CO^2 dissous	9 933 calories.

Ces chiffres, rapportés à l'unité de poids des aliments, varient nécessairement, en raison de l'état d'hydratation différente des hydrates de carbone, c'est-à-dire selon que ces aliments sont

introduits à l'état de fécule, de glycogène, de sucre de canne, de glucose, etc. ; état dont il est nécessaire de tenir compte dans les calculs. Un tel état d'hydratation inégal ne modifie d'ailleurs que dans une faible proportion la chaleur de combustion d'un poids donné du carbone contenu dans les hydrates. Mais il influe d'une façon considérable sur la chaleur de combustion d'un poids donné des matières alimentaires. La chaleur de combustion de ces dernières et leur valeur alibile, dans le cas des hydrates de carbone, pas plus que dans le cas des albuminoïdes, ne saurait donc être évaluée rigoureusement d'après la seule connaissance de leur poids.

On remarquera que la chaleur de combustion du carbone contenu dans les hydrates précédents surpasse d'un cinquième environ la chaleur de combustion du carbone élémentaire, constitutif de cet ordre de composés ; excès d'autant plus important à signaler que l'on n'en tenait pas compte dans les anciens calculs relatifs à la chaleur animale. J'ai déjà insisté plus d'une fois sur cet excédent thermique, qui répond à une réserve d'énergie remarquable, car elle est l'origine de la chaleur dégagée dans la plupart des fermentations.

Venons aux *corps gras* proprement dits. Leurs chaleurs de combustion sont comprises, d'après les déterminations connues,

CO^2 étant gazeux : éntre 12 200 calories et 12 500 calories environ, pour chaque gramme de carbone contenu dans le principe hydrocarboné :

CO^2 étant dissous. . 12 667 à 12 967 calories.

Le chiffre le plus élevé répond à la composition moyenne des graisses naturelles.

Ce chiffre d'ailleurs répond, pour 1 gramme du corps gras lui-même, à

CO^2 gaz . . . . 9 500 calories environ ;
CO^2 dissous . . . 9 855 calories.

Mais l'évaluation rapportée à 1 gramme de carbone nous paraît préférable.

En tout cas, ce sont là nécessairement les plus fortes chaleurs de combustion, pour 1 gramme de carbone contenu dans les principes fondamentaux des animaux ou des aliments; attendu que les corps gras ne renfermant que peu d'oxygène déjà combiné et dès lors susceptible de faire disparaître, en tout ou partie, l'influence calorifique de l'hydrogène. La valeur calorimétrique des corps gras, sous un poids donné, est donc maxima ; mais, par contre, ce sont les principes

dont la combustion totale absorbe la dose la plus forte d'oxygène.

Ainsi les trois nombres moyens suivants :

12 500 calories, pour les corps gras ;

10 870 calories, pour les albuminoïdes ;

9 470 calories, pour les hydrates de carbone ;

représentent le pouvoir calorifique respectif des poids de ces divers principes contenant 1 gramme, c'est-à-dire une même proportion de carbone ; en supposant les matières sèches et l'acide carbonique gazeux.

Si ce dernier était dissous, tous ces nombres devraient être accrus de 467 calories.

Si l'on préférait rapporter le pouvoir calorifique à 1 gramme des principes eux-mêmes, il faudrait les amener à un état tel qu'ils fussent privés de l'eau qu'ils perdent vers 120°. D'après ce mode de calcul, on aurait à peu près :

9 500 calories en moyenne, pour les corps gras,

5 700 calories, pour les albuminoïdes,

4 200 calories, pour les hydrates de carbone (fécule et congénères) ; CO^2 étant dégagé dans tous les cas sous forme gazeuse.

Mais parmi les nombres ainsi calculés, dans l'hypothèse d'une combustion totale et de l'acide carbonique gazeux, ceux qui concernent les

albuminoïdes sont en réalité trop forts d'un sixième, dès que l'on envisage ces corps comme producteurs de chaleur animale, à cause de la formation de l'urée ; tandis que les quantités de chaleur calculées pour les hydrates de carbone et les corps gras s'appliquent intégralement à la génération physiologique de cette chaleur.

Ajoutons enfin que ces données sont vérifiables pour un organisme en pleine activité, qui consomme ses aliments, qui les brûle complètement (l'urée exceptée), et qui se retrouve chaque jour, ou bien après une série d'un petit nombre de jours, dans un état identique à celui qu'il présentait à l'origine.

L'influence des excréments proprement dits ne les modifie que faiblement, parce que les excréments ne constituent chez l'homme qu'une fraction assez faible du poids total des aliments.

Mais il en serait autrement pour un organisme malade ou amoindri, et qui ne brûlerait pas complètement les matières alimentaires introduites du dehors.

Les troubles qui résultent de ces dernières circonstances peuvent être d'ailleurs, soit généraux, soit locaux : ils sont généraux pour les organismes qui n'ont plus, faute d'un exercice

musculaire et d'une activité respiratoire suffisants, la propriété de brûler suffisamment les corps gras. Ceux-ci se déposent alors de tous côtés, sous forme adipeuse, et encombrent l'organisation, les tissus musculaires en particulier. Les aliments gras, qui possèdent à poids égal la puissance calorifique la plus considérable, sont aussi ceux qui cessent les premiers de fournir leur énergie à une organisation affaiblie.

Un déficit thermique très marqué se produit pareillement, lorsque l'organisme élimine des hydrates de carbone, c'est-à-dire lorsqu'il ne développe plus à un degré suffisant les agents capables de détruire à la fois les hydrates introduits par l'alimentation, ainsi que ceux que l'organisme fabrique lui-même, dans le tissu hépatique. De là une diminution dans la production de la chaleur animale; diminution qui paraît liée, plus spécialement que la précédente, avec l'état pathologique d'un système d'organes particuliers.

Ces observations s'appliquent, pour une part au moins, à la combustion incomplète des principes azotés, lorsqu'ils sont introduits en trop grande abondance, par une alimentation excessive, au sein d'un organisme affaibli, ou qui n'est pas soumis à l'exercice d'une grande activité

fonctionnelle, et spécialement musculaire. De tels aliments ne sont plus alors brûlés complètement dans l'ensemble de l'économie.

En outre, l'insuffisance fonctionnelle des organes qui procèdent à l'élaboration finale des principes azotés, celle des reins en particulier, concourt à en permettre l'élimination en nature. Celle-ci a lieu sous forme d'albumine non modifiée, ou de peptones imparfaitement digérées, dans les cas les plus graves. D'une façon plus générale, elle se manifeste sous la forme de produits incomplètement brûlés, tels que l'acide urique et congénères ; produits dont le séjour et la diffusion dans l'organisme développent de graves perturbations, des altérations locales, des engorgements, des formations de dépôts, concrétions et précipités divers, etc.

Remarquons que toutes ces perturbations coïncident avec une diminution dans la puissance génératrice de chaleur de l'organisme, qui devient par là même de plus en plus sensible aux influences extérieures de refroidissement et autres. Il y a plus : par le seul fait que la machine animale développe une dose de chaleur insuffisante, elle est de moins en moins apte à fonctionner et à brûler entièrement ses aliments : en vertu de ces enchaînements vicieux, si fréquents dans la mé-

canique ordinaire, aussi bien que dans la mécanique des êtres vivants.

Les données nouvelles exposées dans le présent ouvrage, relativement à la chaleur animale, comportent une infinité d'autres applications ; mais il suffira des indications précédentes pour donner une première idée du rôle véritable des divers groupes de principes alimentaires, spécialement envisagés au point de vue de leurs chaleurs de combustion et de formation, d'une part, et, d'autre part, des énergies physiologiques dont les principes alimentaires sont l'origine.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

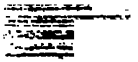
CHAP. I. *Chaleur de combustion du carbone sous ses différents états : Diamant, graphite, carbone amorphe.* 5

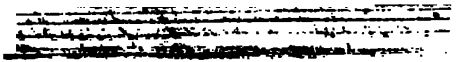
CHAP. II. *Chaleur de combustion et de formation des composés minéraux et des composés carbonés binaires et ternaires non azotés, susceptibles de servir d'aliments, ou de prendre naissance dans l'Économie animale. Hydrates de carbone et corps gras* 47

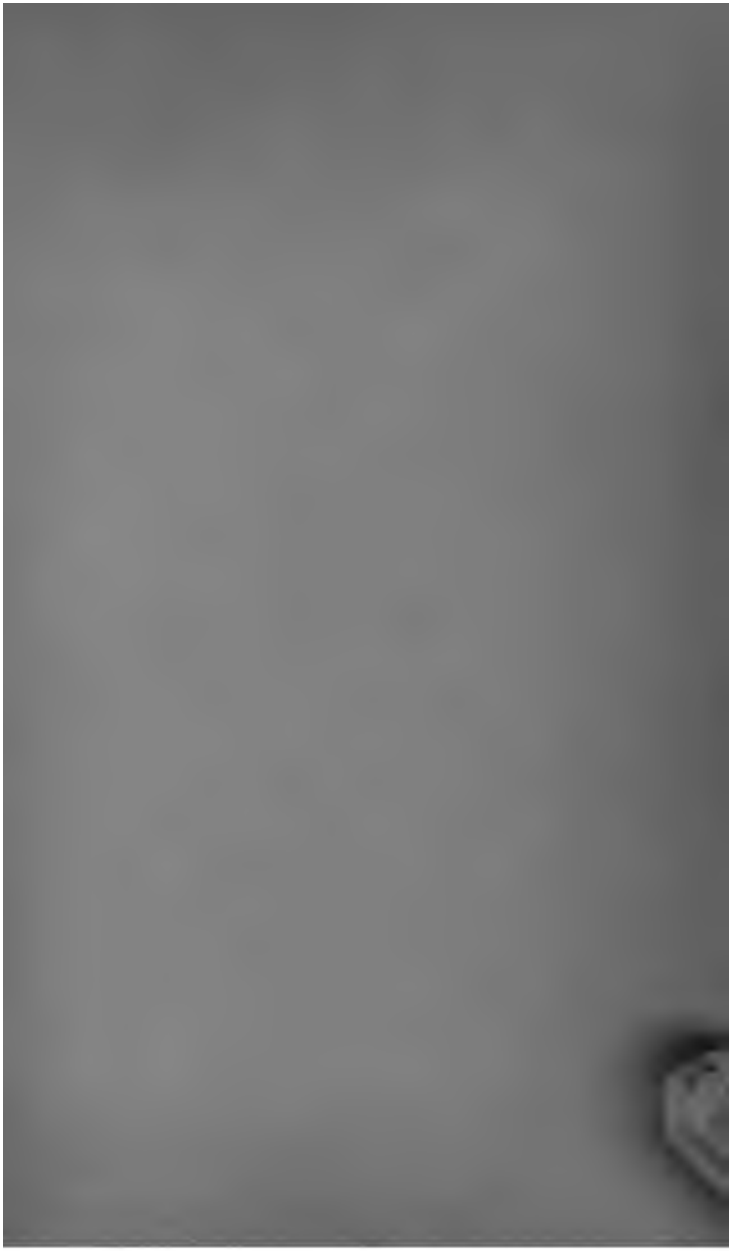
CHAP. III. *Chaleur de combustion et de formation des principes azotés à molécule bien définie, susceptibles d'exister dans l'Économie animale, et congénères : Amides, Amines, Nitriles, etc.* 71

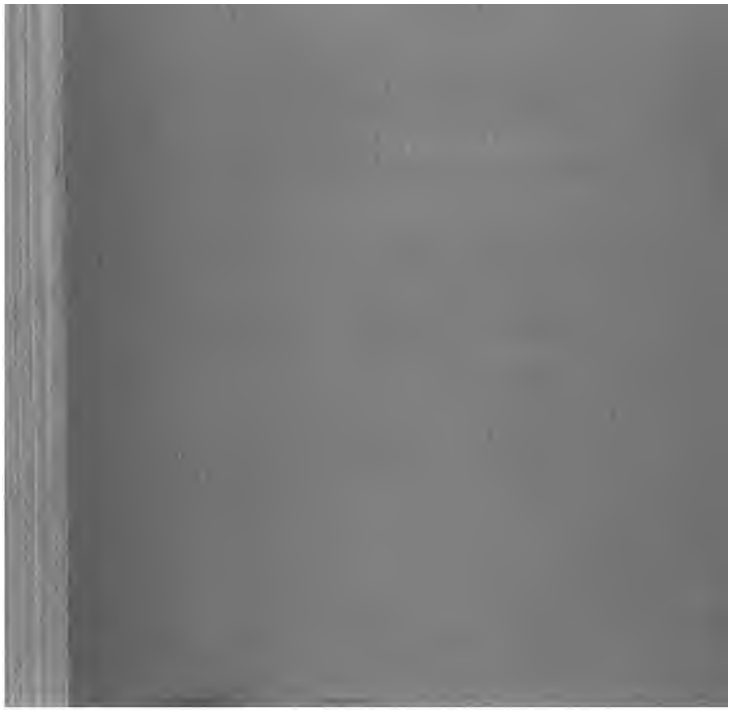
CHAP. IV. *Chaleur de formation et de combustion des corps albuminoïdes et congénères : leur rôle dans la production de la chaleur animale* . . 95

Saint-Amand (Cher). — Imp. DESTENAY, Bussière frères





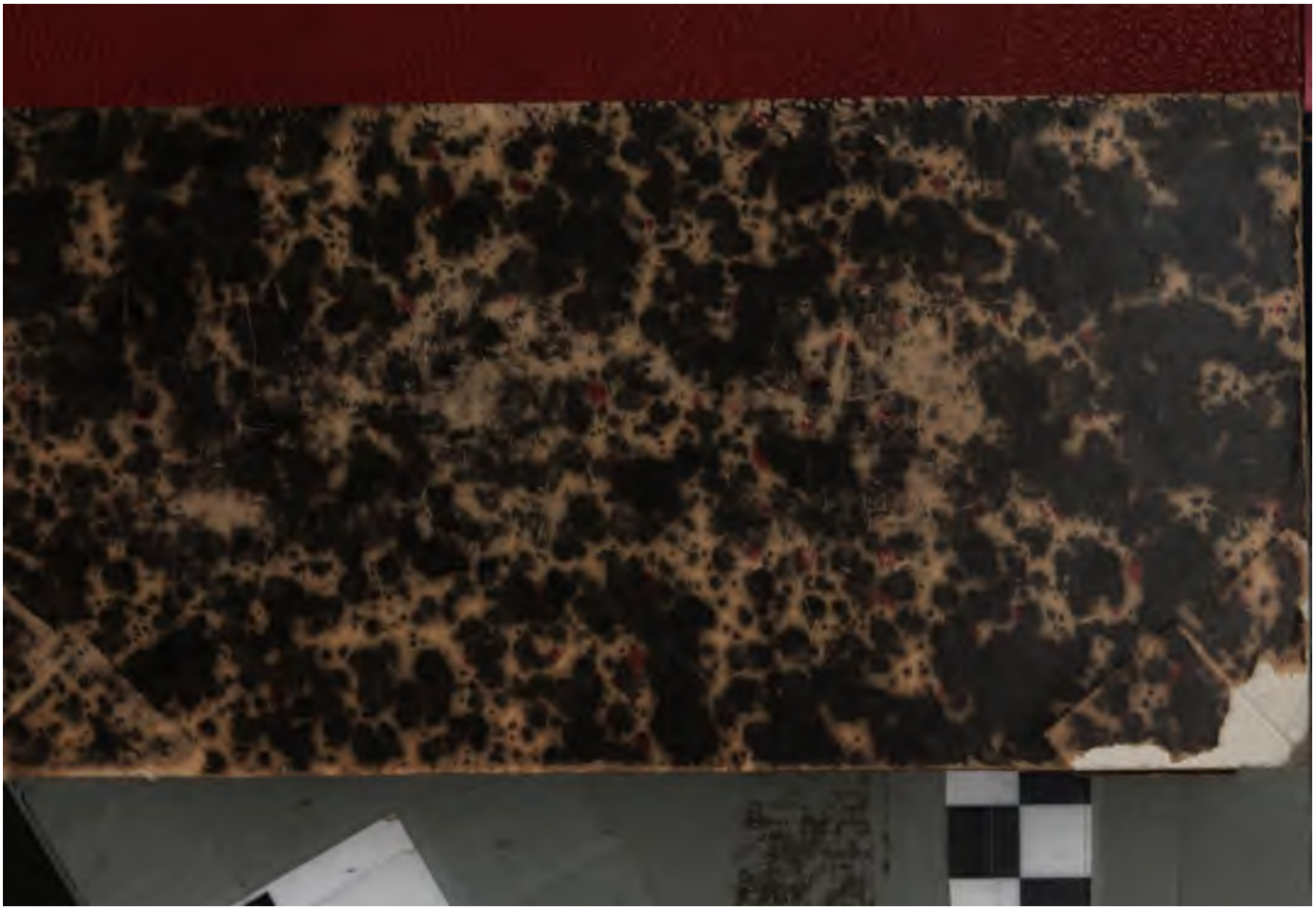




LANE MEDICAL LIBRARY
STANFORD UNIVERSITY MEDICAL CENTER
STANFORD, CALIFORNIA 94305
FOR RENEWAL: PHONE 723-6691

DATE DUE

QP
145
H3
1899
LANE
STORAGE

Stanford University Library
Stanford, California

In order that others may use this bo
please return it as soon as possible,
not later than the date due.